

Heinz Förster

Das Gedächtnis

Eine quantenphysikalische Untersuchung

Mit einer Einleitung von

Professor Dr. **Otto Pötzl**

Wien
Franz Deuticke
1948

Verlags-Nr. 4095.



Printed in Austria.
Manzsche Buchdruckerei, Wien IX.

Ilse Nelson gewidmet

Vorwort.

Die Zeit scheint gekommen, wo die Wege geistigen Forschens heterogenster Gebiete zu ihrem gemeinsamen Ursprung zusammenfinden. Wir haben unterschieden, um heute zu vereinen. Physikalische Grenzprobleme sind philosophischer Natur; Biologie und Psychologie bedienen sich physikalischer Methoden, und medizinisches Forschen ist eng mit biologischen Grundfragen verknüpft.

Der Gedanke, der dieser Arbeit zugrunde liegt, ist der, die Möglichkeit eines Schnittpunktes physikalischer und psychologischer Forschungswege zu beleuchten. Daß gerade das Studium der Funktion des Gedächtnisses dem Physiker sich aufdrängt, liegt nahe: Gedächtnisexperimente lassen sich einfach und sauber durchführen, was zahllose Arbeiten auf diesem Gebiete bezeugen. Das dort gewonnene Zahlenmaterial läßt eine Überprüfung mathematischer Ansätze zu, womit eine exakte Methode des Vergleichs von Theorie und Experiment gegeben ist.

Der Verfasser, gewöhnt, den physikalischen Weg zu gehen, ist daher Professor Dr. Otto Pötzl zu aufrichtigem Dank verpflichtet, daß er in seiner Einleitung den Zugang für den Psychologen und Hirnphysiologen geöffnet hat.

Dem Verlag sei für die rasche Drucklegung und die gediegene Ausstattung an dieser Stelle gedankt.

Wien 1948.

H. Förster.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.

Die vorliegende Arbeit von H. v. Förster ist ein weiterer Markstein auf dem Wege jener Richtung, die bestrebt ist, Brücken zu schlagen zwischen den Errungenschaften der modernen Mikrophysik und dem Lebensproblem. Bohr, de Broglie und Schrödinger haben den Weg gewiesen. P. Jordan hat ihn in großen Zügen verfolgt mit seiner Verstärkertheorie der Organismen, an den Viruskrankheiten, an der Bildung von Antikörpern im Serum, an seiner Treffertheorie für die Abtötung von Bakterium coli durch ein Lichtquant. In der Genetik haben Timoféeff-Ressowsky, Delbrück und Zimmer den Ausgangspunkt geschaffen. Bisher aber waren die Gedankengänge der Quantenbiologie kaum noch angewendet worden „für das menschliche Gehirn, betreffs dessen wir diese Frage“ (des Maschinellen oder Übermaschinellen) „so besonders gern entschieden hätten“ (P. Jordan).

Die vorliegende Arbeit greift zu einer quantenbiologischen Bearbeitung die Ebbinghaussche Methode aus der experimentellen Psychologie heraus, also das ausschließliche Erlernen von Komplexen sinnloser Silben, durch das so rein als nur möglich das „natürliche Gedächtnis“ herausgearbeitet und jede Auswahl durch den Sinn nach Möglichkeit ausgeschaltet werden soll.

Die „Vergessenskurve“ von Ebbinghaus ist der Ausgangspunkt für die mathematisch-physikalische Theorie des Autors. Die Verteilung und die Flüchtigkeit elementarer Bewußtseinsinhalte (*EI*) gibt dem Autor den Ansatz. Es sind also Gruppen der eingelernten Silbenkomplexe, jeweils behaltene und vergessene, die sich ihm als ein Sonderbeispiel elementarer Bewußtseinsinhalte darstellen. Er betrachtet sie in ihrer Zeit-Abhängigkeit, derzufolge sie zum Teil dem Gedächtnis allmählich entschwinden.

Ursprünglich enthält die Ebbinghaussche Vergessenskurve in der Waagrechten die Zahl der Tage nach dem Erlernen, in der Senkrechten die Zahl der behaltenen Silben (in Prozenten der

Bekeimungen im zitierten Versuch. Mindestens die Latenzzeit zwischen Bekeimung und Nachwirkung legt eine solche Analogie nahe.

Im tachistoskopischen Versuch war die Bedingung für eine lange optische Nachwirkung das Vorbewußtbleiben des zugehörigen Elementarinhalts; im Beispiel der Merkfähigkeit ist das Zurücksinken aus dem Bewußtsein in die Latenz vielleicht ebenfalls wesentlich für die spätere Wiedererweckbarkeit. Das Zurücksinken aus dem Bewußtsein bringt der Autor in Zusammenhang mit einer Übernahme angeregter Zustände einer Trägergruppe (T_1), die „kurzlebig" ist, durch eine Trägergruppe „langlebiger" Art (T_2). Der langsamere und allmählich um sich greifende Zerfall der einzelnen angeregten Trägergruppen, verzögert durch eine Austauschleistung zwischen „imprägnierten" und „freien" Trägern, ist es dann, der durch den Ansatz des Autors in der Vergessenskurve abgebildet sein soll.

Der erste Ansatz des Autors geht von der Annahme aus, daß „der Verlust von EI in der Zeiteinheit proportional der Menge der vorhandenen EI" ist. Im tachistoskopischen Versuch hatten die wachbewußt aufgenommenen und entwickelten EI keine Nachwirkungen sinnlich-lebhafter („eidetischer") Art. Denkt man sich das, was die Versuchsperson unmittelbar nach dem Versuch als ihren Eindruck geschildert hat, als zusammengesetzt aus einer großen Menge elementarer Bewußtseinsinhalte, die, in der ganz kurzen Zeit der Exposition angeregt, durch eine katalytische Beschleunigung rasch und (nahezu) gleichzeitig entwickelt worden sind, dann ist auch hier ein rasches Absinken von Nachwirkungen der Menge der (fast) gleichzeitig im Bewußtsein vorhandenen EI proportional.

Es handelt sich aber offenbar in den beiden Beispielen um andersartige Nachwirkungen. Auch im tachistoskopischen Versuch haben sich natürlich die Versuchspersonen vieles gemerkt aus den bewußten Entwicklungen nach dem Versuch. Das Ausscheiden von Nachwirkungen, die sinnlich, in Bildern entwickelbar waren, die aber offenbar durch „langlebige" Träger bis zur Entwicklung im Halbschlaf konserviert worden sind, beantwortet eine Frage, die der Autor offen läßt: es müssen verschiedene Typen „langlebiger" Trägergruppen im Zentralorgan vorhanden sein, $T_2, T_3, T_4 \ldots$, vielleicht mit verschiedenen Zerfallskonstanten.

Jedenfalls lassen sich die herangezogenen Verhältnisse beziehen auf „Hebungen des Energieniveaus kurzlebiger, komplizierter Molekülkomplexe, deren Imprägnation sofort auf andere Gruppen langlebiger Träger übertragen wird". Im Falle der „Ebbinghausschen Vergessenskurve" liegt die Annahme eines allmählichen partiellen Spontanverlustes (eines „Zerfalles") nahe, durch den wieder tiefere Stufen von Energieniveaus erreicht werden. Der formale Ansatz, den der Autor eingangs für diese Verluste gemacht hat, ist die Exponentialfunktion mit negativem Exponenten. Bekanntlich ist derselbe Ansatz in der Elektrophysiologie des Nerven für die Reiztheorien gemacht worden. „Der einfachste mögliche Fall ist, daß die durch die Reizspannung gesetzte Störung sich entwickelt mit einer Geschwindigkeit, die dem bereits entstandenen Störungsgrad proportional ist, (Halbwertzeit des Radiumzerfalles, Entladung der Spannung eines Kondensators)" (H. Schaefer). Auch in dieser Richtung ist das hier behandelte Beispiel vergleichbar mit dem Beispiel, das der Autor gewählt hat. Im ersteren handelt es sich um einen Vorgang, der sich vergleichen läßt mit der Aufladung eines Kondensators, bzw. mit einer Feldbildung, im letzteren um die Entladung einer Spannung. Hier lassen sich Symmetrieverhältnisse vermuten, wie die Physiologie sie z. B. kennt, am Anklingen und Abklingen eines labyrinthären Drehnystagmus. Auf jeden Fall wird so veranschaulicht, daß es sich bei den vom Autor behandelten Verhältnissen um den Verlust elektrischer Ladungen handeln kann und daß „der Flüchtigkeitskoeffizient", bzw. die „Zerfallskonstante" ganz verschieden sein kann von Einheiten zu Einheiten, die ihre Ladung verlieren.

Eine Verteilung der elementaren Bewußtseinsinhalte innerhalb eines sehr kleinen „Flüchtigkeitsintervalls" ($\Delta\alpha$, Abb. 2) könnte also physiologisch konkretisiert sein durch die Vorstellung einer Mannigfaltigkeit entladungsartiger Wirkungen aus verschiedenen Neuronengruppen. Doch ist gerade hier große Vorsicht angebracht, weil voreilige Zuteilungen bestimmter elementarer Leistungen an bestimmte Neuronensysteme oft genug nur das Gebiet der sogenannten Hirnmythologie bereichert haben.

Die anatomisch unbeeinflußte Darstellung des Physikers, wie ihn diese Arbeit enthält, bedeutet darum zunächst einen Vorteil. Es bleibt unerörtert, ob es sich bei diesen Trägereinheiten um Neuronen handelt oder um kleinere Kmplexe innerhalb einzelner Neuronen, bzw. welche Komplexe solcher Art. Dennoch ist zu vermuten, daß jeder Leser, der von der anatomisch-physiologischen Seite her sich den Problemen der Quantenbiologie zu nähern trachtet, bestrebt sein wird, ein derartiges Problem mit seinen morphophysiologischen Anschauungen irgendwie in Einklang zu bringen. Für das Bacterium coli hat die Verstärkertheorie von P. Jordan in den Chromatinsubstanzen des Einzelligen ein Steuerungszentrum erblickt, das, durch den Treffer

eines einzigen Lichtquants ausgeschaltet, die Zerstörung der ganzen Zelle nach sich zieht. Für die **Genetik** ist die Bindung der gestaltenden Vorstellungen an das Chromatin längst keine Hypothese mehr. Die Lehre von den strahlenbedingten Mutationen hat bereits eine Morphologie der Gameten als Stütze. Die „**Treffertheorie**" (**Timoféeff, Ressowsky, Zimmer, Delbrück**) hat unter gewissen Voraussetzungen einen **Treffbereich** für verschiedene Raten verschiedener strahlenbedingter Mutationen theoretisch zu erschließen gesucht. „Die berechneten Treffbereiche können rund von 100 bis 1500 Atome umfassen... Der Treffbereich kann größer oder kleiner als das Gen sein, muß aber sicherlich größer sein als die Stelle, die durch Mutation verändert wird" (**Timoféeff-Ressowsky**).

Fragt man, wie weit man für Strukturen **innerhalb** von Neuronen die biophysikalischen Anschauungen des Autors dieser Arbeit anwenden darf, so käme für die größeren Neuronen das **Nisslsche** Tigroid in Betracht, richtiger gesagt, dasjenige, was in der lebenden Zelle diesen Fällungsstrukturen entspricht, da sie (Th. **Goldschmidt**) auf die Entsendung von Stoffen aus dem Kern ins Plasma hindeuten. Auch die färberische Ähnlichkeit mit dem Chromatin kommt in Betracht, ebenso ihr Verschwinden während der Tätigkeit der Zellen. Für die kleineren Neuronen aber, so für die **Körnerschicht** in der Sinnesrinde, darf die von **Ramon Y Cajal** angenommene „lawinengleiche Anschwellung des Reizstromes" (avalanche conduction) herangezogen werden, da (**Cajal**) diese Schicht den **Empfangsapparat** der Sehrinde, wie der Hörrinde mindestens in einem Hauptanteil enthält. So kann man in dieser Schicht besonders Vorgänge annehmen, die nach (H. v. **Förster**) den **kurzlebigen** Trägern (T_1) zugeordnet sind, dem System, dessen Leistung „dem raschen Wechsel der Sinneseindrücke entspricht".

Bekanntlich enthält die Körnerschicht überaus zahlreiche kleine Neuronen mit wenig Protoplasma und großem Kern. Sie zeigt also ein eigenartiges Überwiegen des Kerns in der Kern-Plasma-Relation (**Hertwig**). Es liegt nahe, die Leistungen dieser Schicht in Zusammenhang zu bringen mit jenen vorhin besprochenen Kettenvorgängen, die das Ergebnis **einer** Bekeimung durch Aktionen aus der Sinnesleitung innerhalb der Sinnesrinde vervielfachen und deren rasches Nacheinander vielleicht mit der Aufeinanderfolge kinematographischer Einzelaufnahmen verglichen werden kann. Die vom Autor angenommene „Imprägnation auf Träger von wesentlich **längerer** Lebensdauer (T_2)" hat Beziehungen zu der kortikalen **Gegenreaktion** auf den Kettenvorgang im Aufnahmeapparat der Körnerschicht.

Die zitierten tachistoskopischen Versuche zeigen, in welch kurzer Zeit schon (10 σ) diese Gegenreaktion einsetzt. Steht man wie Schreiber dieser Zeilen, fest auf dem Standpunkt der Anschauungen von **Freud**, so ist (nach **Freud**) das **Vorbewußte** eine Art von Vorraum, den die Eindrücke aus dem Unbewußten passieren müssen, wenn sie ins Reich des Bewußten gelangen sollen. Die **Zensur** entscheidet ihr Schicksal. **Freud** selbst hat betont, daß die zitierten Versuche zeigen, wie die Zensur schon im Augenblick der Exposition gearbeitet hat. So spielen sich die Versuche gleichsam im Raum des Vorbewußten **ab**; schon während der Expositionszeit wird entschieden, was ins Unbewußte verdrängt, was ins Bewußte hineingelassen wird.

Will man für dieses Geschehen ein **physikalisches** Gleichnis, so läßt es sich mit der Zerlegung von Lichtstrahlen in einem doppeltbrechenden Kristall vergleichen.

Denn in jedem dieser Versuche hat das stets wiederkehrende reziproke Wechselverhältnis in der Teilung der (als Einheits**komplex** aufgefaßten) Gesamtwirkung der Originalerregung ein gesetzmäßiges Verhalten gezeigt: stets wuchs die Fraktion, die ins Unbewußte einging, mit der Abnahme der Fraktion, die den Weg ins Bewußtsein fand und umgekehrt. Es lag nahe, in einer zunächst bildlich gemeinten Weise dies auszudrücken durch Wachsen und Abnahme zweier einfacher periodischer Funktionen sin und cos, die Trennung der beiden Bereiche aber auszudrücken durch die imaginäre Einheit für eine der beiden Fraktionen. So ergab sich als **Bild** eine Winkelfunktion, deren Eigenschaft also eine kontinualisierende sein mußte:

$$\cos\varphi + i\sin\varphi = e^{i\varphi}$$

die **Eulersche** Relation, also der Richtungsfaktor einer komplexen Zahl. Wie sich hier Beziehungen einer **Dualität** herstellen lassen zu den Ausdrücken für quantenhaft geteilte Vorgänge, soll an dieser Stelle nicht ausgeführt werden.

Im vorigen sind wiederholt Vergleiche gebraucht worden, die vom kinematographischen Aufnahmsapparat hergenommen sind; die rezeptorische Körnerschicht erschien als ein Aufnahmsapparat. Nun hat die Untersuchung zweier rechtshirniger Syndrome am Menschen Beziehungen ergeben, die — wie das „stroboskopische Prinzip des Bewegung-Sehens" (M. **Wertheimer**) — noch viel deutlicher zum kinematographischen Gleichnis hindrängen. Im **Zeitraffererlebnis** laufen für den Kranken alle Bewegungen der Umwelt zu rasch ab; im **Zeitlupenerlebnis** verlangsamt sich die Bewegung der Umwelt für den Kranken bis zum Stillstand. Zieht man hiefür das kinematographische Modell heran,

so ist ein Aufnahmsapparat und ein Vorführungsapparat in der menschlichen Großhirnrinde zu unterscheiden, deren Frequenzen durch die Wirkung von Herderkrankungen (rechter unterer Scheitellappen beim Rechtshänder) gegeneinander verstimmt werden können.

In Anwendung der Gedankengänge von H. v. Förster scheint mir die Vermutung nahezuliegen, daß die Wechselwirkungen der „kurzlebigen“ und der „langlebigen“ Trägersysteme mit Wechselwirkungen innerhalb des zentralen Vorführungsapparats zusammenhängen. Von der Sinnesrinde aus betrachtet, erscheint der Vorgang als Entsinnlichung der aktuellen Wirkungen vom Sinnesapparat her, als ein Entzug. Von den Systemen jenseits der Sinnesrinde her gesehen, erscheint der Vorgang wie eine Beladung mit den entzogenen Energiequanten, gerichtet auf jene Systeme, die „die Aufgabe haben, die gehabten Bewußtseinsinhalte zu speichern“. Selbstverständlich deutet sich an, daß diese Wechselwirkungen in ihrer Richtung umkehrbar sind.

So unterstützt die Hirnphysiologie der Wahrnehmung durchaus die Gedankengänge des Autors über die Physiologie des Gedächtnisses. Sie trägt dazu bei, seine Auffassungen „auf das Gesamtphänomen des Bewußtseins auszudehnen“. Zweck der hier ausgeführten einleitenden Bemerkungen war, dies hervorzuheben, nicht aber jede Einzelheit der Arbeit zu diskutieren, über deren Folgerichtigkeit der Leser selbst zu urteilen hat.

Vielleicht erwartet man hier noch eine psychiatrische Stellungnahme zu den Theorien des Autors über die Pathologie des Gedächtnisses („λ“- und „$\varkappa$“-Krankheit). Eine solche könnte in der erforderlichen Kürze nicht gegeben werden. Ich gebe darum nur den naheliegenden Hinweis auf die Korsakowsche Psychose, die ja vielfach für eine fast elektive und hochgradige Störung der Merkfähigkeit gehalten worden ist. Man kann selbstverständlich daran denken, sie im Sinne des Autors für eine „λ-Krankheit“ zu halten, d. h. eine pathologisch gesteigerte „Zerfallskonstante“ für die langlebigen Trägersysteme anzunehmen. Erklärt wäre (nach dem Vorigen) auf diese Weise, daß dieser gesteigerte Zerfall die Vorgänge bei der Wahrnehmung nicht mitbetrifft. Es wäre aber zu beachten, daß (Gregor) die Ebbinghaussche Ersparnismethode auch beim Korsakow-Kranken die Zahl der notwendigen Wiederholungen herabsetzt. Eine katalytische Wirkung des Einprägungsvorganges bleibt also auch im Korsakow bestehen. Dies erklärt sich unschwer, wenn man die Anschauungen von H. v. Förster über die „Memoration“ heranzieht.

Die mikroskopische Anatomie des senilen Korsakow, der häufigsten Psychose des Greisenalters mit dem bekannten Abbau

von Erinnerungen der jüngsten Vergangenheit bietet ein Test für die vorhin gemachte Annahme, daß transkortikal über die gesamte Hirnrinde verbreitete Systeme von Neuronen die Trägergruppen mit „längerer Lebensdauer“ beherbergen. In der äußeren Hauptschicht, besonders in der Schicht II und III finden sich elektiv jene Fällungsprodukte (die Redlich-Fischerschen Plaques), die von vielen Seiten (v. Braunmühl u. a.) für den gestaltlichen Ausdruck elektrischer Entladung gehalten werden. Auch die bekannte, die Nervenfibrillen verklumpende „Alzheimersche Fibrillenveränderung“ weist auf analoge Vorgänge innerhalb der größeren Neuronen hin.

Nur eine Bemerkung noch sei mir gestattet, die an die mathematisch nicht vorgebildeten Leser sich wendet: die Arbeit verdient, von jedem gelesen zu werden, der Interesse hat für biologische und psychologische Grundfragen, zumal für den gegenwärtig so aktuellen Zusammenhang der Probleme des Lebens mit den Problemen der neuen Atomphysik. Mathematisch nicht gebildete Leser brauchen sich nicht abschrecken zu lassen durch die Formeln; diese sind nur das Beweismaterial für die Gedankengänge des Autors, die jedem Leser verständlich sein können.

Dem mathematisch gebildeten Leser hingegen zeigt die Arbeit ein besonders glückliches Beispiel biophysikalischer Gedankengänge, deren Durchrechnung weite Perspektiven eröffnet.

Allen Lesern aber sei empfohlen, beim Lesen dieses Buches sich des Werks von R. Semon, der „Mneme“ wieder zu erinnern und an dem Semonschen Begriff der Homophonie ein erstes Anklingen jener Sphärenmusik zu erkennen, wie sie die Wellenmechanik uns für das Weltbild erschlossen hat. Semon, ein besonders ausgeprägter „typ auditif“ unter den Biologen hörte die Sphärenmusik der belebten Natur; Karl Ernst v. Baer, J. v. Uexküll haben ihren Melodienreichtum biologisch erfaßt; ihre Mathematik steht noch aus.

Otto Pötzl.

Übersicht.

Die vorliegende Arbeit besteht aus zwei Teilen: einem phänomenologisch-psychologischen und einem biophysikalischen Teil. Der erste Teil geht von dem Gedanken aus, einen Bewußtseinsinhalt als einen Komplex aufzufassen, der aus lauter Elementarbewußtseinsinhalten — kurz *EI* genannt — besteht. Als Sitz dieser *EI* werden zunächst hypothetische Träger angenommen, die entweder mit einem *EI* imprägniert oder frei sein können. Im statistischen Mittel verliert ein solcher Träger nach einer gewissen Wartezeit von selbst seine Imprägnation. Ein imprägniertes Trägerkollektiv verwandelt sich demnach allmählich in ein freies. Die *EI* wären dann verschwunden, und damit auch der gesamte Bewußtseinsinhalt. Um sich jedoch einen Bewußtseinsinhalt zu erhalten, müssen die imprägnierten Träger immer wieder auf freie abgebildet werden. Dieser ständig vor sich gehende Transformationsvorgang wird — wenn er nicht unbewußt durchgeführt wird — als Bewußtsein empfunden. Diese hier entwickelten Gedanken werden mathematisch formuliert und es zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit aus der Literatur bekannten Experimenten.

Im zweiten Teil wird gezeigt, daß das Verhalten der Träger sich durch das Verhalten der Mikrozustände der Materie erklären läßt. In Analogie zu der von Delbrück, Schrödinger u. a. entwickelten Auffassung, das „GEN", den Träger der Erbmerkmale, als Quantenzustand eines Großmoleküls (Aperiodischer Kristall) zu deuten, wird hier das „MEM", der Träger der Erinnerungsmerkmale, als ein verschiedener Quantenzustände fähiger Mikrokomplex aufgefaßt.

Die sich daraus ergebenden Folgerungen werden an Beispielen diskutiert, wobei sich zeigt, daß zahlreiche psychologische und psychopathologische Phänomene auf Grund der ausgeführten Gedanken zwanglos gedeutet werden können.

§ 1. Phänomenologie des Vergessens.

Wird ein Erlebnis zum Inhalt unseres Bewußtseins, oder auch des Unbewußten, so erleidet die Erinnerungsvorstellung dieses Erlebnisses im Laufe der Zeit eine Trübung, um schließlich, je nach der Wichtigkeit des Ereignisses für den einzelnen Menschen, mehr oder weniger aus dem Gedächtnis zu verschwinden.

Für dieses Absinken der Bewußtseinsinhalte (*BI*) mit der Zeit, kann man eine plausible Annahme machen. Sie besteht darin, daß man den Verlust der *BI* in der Zeiteinheit proportional den jeweils vorhandenen *BI* setzt. Besitzt man zur Zeit (t) etwa N *BI*, so läßt sich dieser Ansatz in Form einer Differentialgleichung anschreiben:

$$\frac{dN}{dt} = -\alpha N. \tag{1}$$

In dieser Gleichung bedeutet α den Koeffizienten, der die relative Abnahme der *BI* in der Zeiteinheit angibt. Er werde im folgenden als „Flüchtigkeit" der *BI* bezeichnet. Das Minuszeichen deutet an, daß es sich um ein Vermindern der Anzahl N handelt.

Diese Gleichung läßt sich leicht integrieren und mit der Festsetzung, daß zur Zeit $t = 0$ die Anzahl der *BI* gleich N_0 war, erhält man die Zeitabhängigkeit der *BI* zu:

$$N = N_0 \, e^{-\alpha t}. \tag{2}$$

Nun sind sicherlich die *BI* zur Zeit $t = 0$ ein ganzer Komplex von Elementarbewußtseinsinhalten (*EI*), deren jedem eine andere Flüchtigkeit α zukommt. Mit anderen Worten, bei einem Ereignis werden nicht alle Einzelheiten gleich wichtig erscheinen. Wichtige Einzelheiten werden eine kleine Flüchtigkeit haben, die unwichtigen werden sich rasch verflüchtigen: α wird für diese Einzelheiten groß. Der Gesamtkomplex der Erinnerungs-

vorstellung wird sich also aus lauter einzelnen Teilen N_{0i} zusammensetzen (s. Abb. 1).

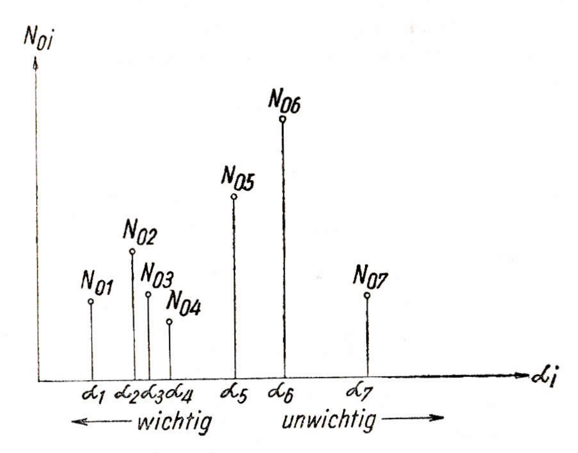


Abb. 1. Diskontinuierliche Verteilung der Elementarbewußtseinsinhalte über die Flüchtigkeiten.

Jeder Teil N_{0i} für sich wird nun der Formel (2) folgen, so daß sich für den gesamten *BI* die Formel ergibt:

$$N = N_{01}\, e^{-\alpha_1 t} + N_{02}\, e^{-\alpha_2 t} + N_{03}\, e^{-\alpha_3 t} + \cdots \tag{3}$$

Die Summe der *EI* zur Zeit $t = 0$ muß natürlich dem gesamten *BI* zur Zeit $t = 0$, nämlich N_0 entsprechen.

$$N_0 = N_{01} + N_{02} + N_{03} + \cdots \tag{4}$$

Die Darstellung gewinnt an Übersicht, wenn man den Bewußtseinsinhalt zur Zeit $t = 0$, also N_0 zur Einheit macht, und alle übrigen Größen als Verhältnisse zu dieser Einheit darstellt. Dazu ist nur nötig, sämtliche Gleichungen durch N_0 zu dividieren. (3) und (4) werden somit:

$$n = \sum_1^k n_{0i}\, e^{-\alpha_i t} \tag{3'}$$

$$\sum_1^k n_{0i} = 1, \tag{4'}$$

wobei

$$n = \frac{N}{N_0} \text{ und } n_{0i} = \frac{N_{0i}}{N_0}. \tag{5}$$

Die Unterteilung des gesamten Bewußtseinskomplexes N_0 zur Zeit $t = 0$ in lauter Elementarinhalte *EI* kann man sich auch in der Weise durchgeführt denken, daß man den Anteil $\varDelta n_0$ der *EI*, der sich innerhalb eines gewissen Flüchtigkeitsintervalls α und $\alpha + \varDelta\alpha$ befindet, zur Darstellung bringt (Abb. 2).

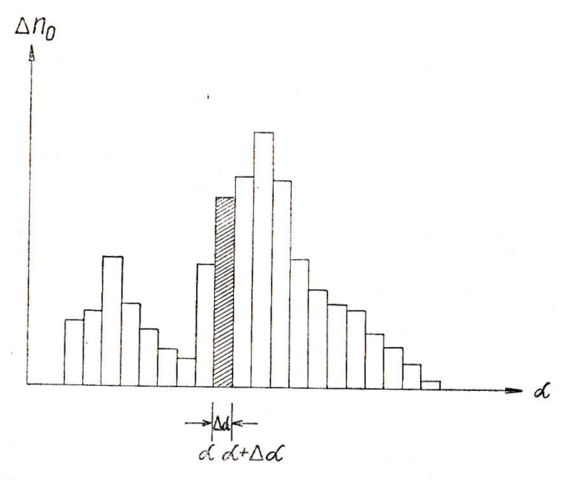


Abb. 2. Verteilung der *EI* innerhalb der Flüchtigkeitsintervalle α und $\alpha + \varDelta\alpha$.

Je kleiner das Intervall $\varDelta\alpha$ gewählt wird — das heißt, je feiner man die Unterteilung vornimmt —, desto weniger *EI* werden in diesem Intervall angetroffen werden. Mathematisch formuliert heißt das:

$$\text{für } \varDelta\alpha \to 0, \text{ geht auch } \varDelta n_0 \to 0$$

oder:

$$\lim_{\varDelta\alpha \to 0} \varDelta n_0 = 0.$$

Wird die Verteilung der *EI* über die Flüchtigkeiten α als stetig angenommen, dann strebt aber der Differenzenquotient $\varDelta n_0/\varDelta\alpha$ für $\varDelta\alpha \to 0$ einem festen Grenzwert zu, der von α, also dem Betrage der Flüchtigkeit, bei dem diese infinitesimale Unterteilung vorgenommen wird, abhängig ist:

$$\lim_{\varDelta\alpha \to 0} \frac{\varDelta n_0}{\varDelta\alpha} = f(\alpha) = \frac{dn_0}{d\alpha}.$$

Zur Darstellung gelangt dann (Abb. 3) die Funktion

$$f(\alpha) = \frac{dn_0}{d\alpha}. \tag{6}$$

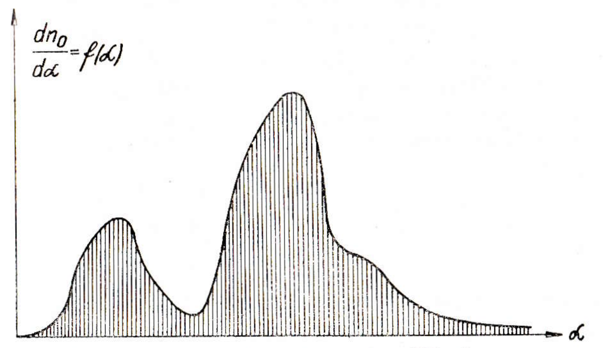


Abb. 3. Stetige Verteilung der *EI* über α.

Da die Summe über alle *EI* zur Zeit $t = 0$ gleich 1 sein muß also

$$\int dn_0 = 1, \tag{7}$$

so erkennt man, daß die Fläche dieser Kurve ebenfalls gleich der Einheit sein muß:

$$\int_0^\infty f(\alpha)\, d\alpha = \int_0^\infty \frac{dn_0}{d\alpha}\, d\alpha = \int_0^1 dn_0 = 1. \tag{8}$$

Die allgemeine Funktion, nach der ein *BI* mit der Zeit sich verflüchtigt, muß demnach, in Analogie zur Gl. (3′) — wobei das Summenzeichen durch ein Integral ersetzt wurde — lauten:

$$n = \int_0^\infty f(\alpha)\, e^{-\alpha t}\, d\alpha, \tag{9}$$

wobei

$$1 = \int_0^\infty f(\alpha)\, d\alpha \tag{10}$$

die Normierungsbedingung (4′) oder (7) darstellt.

Für jede Funktion $f(\alpha)$, die dieser Bedingung genügt, sind andere Lösungen der Gl. (9) zu erwarten (s. Anhang § 1).

§ 2. Die Vergessenskurve.

Die Tauglichkeit des in § 1 gemachten Ansatzes über das Verschwinden von *BI* kann nur am Experiment erprobt werden.

In Rohrachers „Einführung in die Psychologie“[1] liegt eine von Ebbinghaus gemessene „Vergessenskurve“ vor, an der untersucht werden soll, ob durch eine einfache Annahme über die Verteilung der Elementarinhalte n_{0i} über die Flüchtigkeiten α ein hinreichend genaues Bild des Erinnerungsschwundes gemacht werden kann. Es werde angenommen, daß der zur Zeit $t = 0$ erlernte Bewußtseinskomplex $n_0 = 1$ nur aus drei Gruppen n_{01}, n_{02}, n_{03} mit den Flüchtigkeiten α_1, α_2, α_3 zusammengesetzt sei. Also daß die von Ebbinghaus gemessene Kurve durch die Gleichung:

$$n = n_{01}\, e^{-\alpha_1 t} + n_{02}\, e^{-\alpha_2 t} + n_{03}\, e^{-\alpha_3 t} \tag{11}$$

hinreichend genau dargestellt werden kann. Überdies gilt nach Gl. (4'):

$$n_{01} + n_{02} + n_{03} = 1. \tag{12}$$

Die durch Ausgleichsrechnung ermittelten Werte der sechs Unbekannten ergeben sich zu:

$$\begin{aligned} n_{01} &= 0{,}118 \qquad & \alpha_1 &= 0{,}000 \\ n_{02} &= 0{,}130 & \alpha_2 &= 0{,}293 \\ n_{03} &= 0{,}752 & \alpha_3 &= 2{,}080 \end{aligned} \tag{13}$$

Die Gl. (11) wird somit:

$$n = 0{,}118 + 0{,}130\, e^{-0{,}293\, t} + 0{,}752\, e^{-2{,}080\, t}. \tag{14}$$

Sowohl die von Ebbinghaus gemessene Kurve wie die durch Gl. (14) dargestellte, sind in Abb. 4 aufgezeichnet.

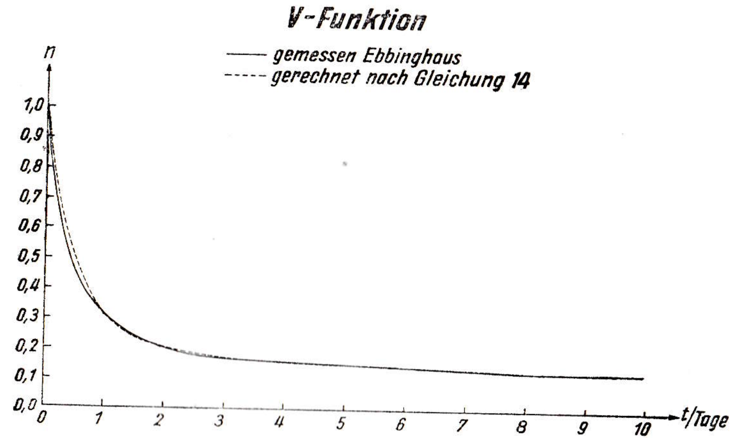


Abb. 4. Vergessenskurve. Vergleich von Gl. (14) mit dem von Ebbinghaus gemessenen Vergessensvorgang.

[1] Rohracher: Einführung in die Psychologie, S. 277. Verlag Urban und Schwarzenberg. 1946.

Bis auf eine kleine Abweichung in den ersten Stunden der Messung ist eine fast völlige Übereinstimmung zu erkennen. Der mittlere Fehler liegt bei etwa 2,8%, also sicher noch unter dem Fehler, der bei so schwierigen Messungen gemacht werden kann.

Dieser Vergleich der Theorie mit der Messung zeigt, daß offenbar in der ersten Annahme, die das Absinken der *BI* in der Zeiteinheit (dn/dt) proportional den jeweils vorhandenen *BI* (n) setzt, ein wesentliches Merkmal der Gedächtnisfunktion getroffe wurde.

§ 3. Psychologie der Gedächtnisfunktion.

Trotz der im vorigen Paragraph gezeigten erstaunlichen Übereinstimmung der theoretischen Funktion mit dem gemessenen Vergessensvorgang, fällt ein großer Mangel der bis jetzt einfachen Theorie auf. Dieser wird deutlich an dem Auftreten eines Flüchtigkeitskoeffizienten α der Größenordnung Null für rund 12% der zur Zeit $t = 0$ erlernten *BI*. Das bedeutet aber mit anderen Worten, daß etwa 12% der anfangs erlernten *BI* völlig unvergeßlich sind, daß also für rund ein Achtel der gemerkten Inhalte das Flüchtigkeitsgesetz Gl. (1) nicht anwendbar ist, also kein Recht für seine Allgemeingültigkeit beanspruchen kann.

Besonders deutlich wird dieser Mangel an jenem Umstand, daß sich ganz allgemein zeigen läßt, daß keine Funktion $f(\alpha)$ mit der Bedingung

$$\int_0^\infty f(\alpha)\, d\alpha = 1 \quad \text{und} \quad \alpha > 0$$

gefunden werden kann, die für $t \to \infty$ Werte von $n \neq 0$ liefert.

Aus diesem Dilemma hilft uns die Besinnung, wie überhaupt eine solche Kurve gemessen werden kann. Offenbar nur so, daß die Versuchsperson in gewissen Zeitintervallen über die noch vorhandenen *BI* abgefragt wird. Durch diese Prüfung werden aber wieder neue *BI* gebildet, denn eine Prüfung stellt ein intensives Erlebnis dar, das neuerlich Erinnerungsvorstellungen vermittelt. Jedes Memorieren, sei es bewußt oder unbewußt — und erst recht eine Prüfung — schafft neue *BI*, die gemäß der ersten Annahme dem Flüchtigkeitsgesetz unterliegen sollen.

Es gilt nun, diesen Gedanken wiederum mathematisch zu formulieren. Auch hier soll eine plausible Annahme über den

Memorationsvorgang den weiteren Betrachtungen zugrunde gelegt werden, und schließlich auf ihre Stichhaltigkeit am Experiment geprüft werden.

War es in den vorigen phänomenologischen Paragraphen lediglich notwendig, von *BI* und von der Anzahl von *EI* zu sprechen, ohne sich um ihren Sitz oder gar ihre hypothetische Gestalt zu kümmern, so ist es in diesem psychologischen Paragraph notwendig, den Träger der *EI* selbst ins Auge zu fassen. Die Besprechung ihrer hypothetischen Gestalt bleibt der biophysikalischen Deutung überlassen.

Es soll im folgenden nun angenommen werden, daß jeder *EI* an einen Träger gebunden ist. Die Anzahl der vorhandenen *EI* entspricht dann der Anzahl der mit *EI* besetzten Trägern, wie es etwa die kleine Skizze (Abb. 5) veranschaulicht.

Abb. 5. Imprägnierte und freie Träger der *EI*.

Die Ringe entsprechen den Trägern, die schwarzen Punkte den *EI*. Träger, die mit einem *EI* besetzt sind, mögen im folgenden „imprägnierte Träger" genannt werden, die unbesetzten hingegen „freie Träger". Jedes Erlebnis imprägniert einen ganzen Komplex N_0 freier Träger, die dann im statistischen Mittel das in § 1 behandelte Flüchtigkeitsgesetz befolgen. Es sei hier nochmals angeschrieben:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \qquad (15)$$

mit der Lösung

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \qquad (16)$$

wobei der Proportionalitätskoeffizient aus sich später zu erweisenden Gründen nicht mehr mit „Flüchtigkeit" α, sondern mit „Zerfallskonstante" λ bezeichnet werden möge. Man kann also jedem imprägnierten Träger eine mittlere „Lebensdauer" τ zusprechen, die sich aus dem reziproken Wert der Größe λ ergibt:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}. \qquad (17)$$

Im Mittel zerfällt also nach einer Zeit τ ein solcher Träger, um sich in einen freien zu verwandeln. Er wird so wieder für eine neue Imprägnation aufnahmefähig.

Jede bewußte oder unbewußte Memoration ist ein bewußtes oder unbewußtes Erlebnis. Dabei werden zunächst imprägnierte

Träger hervorgehoben (abgetastet), sofort aber freie Träger frisch imprägniert, wie es etwa die kleine Skizze (Abb. 6) veranschaulicht.

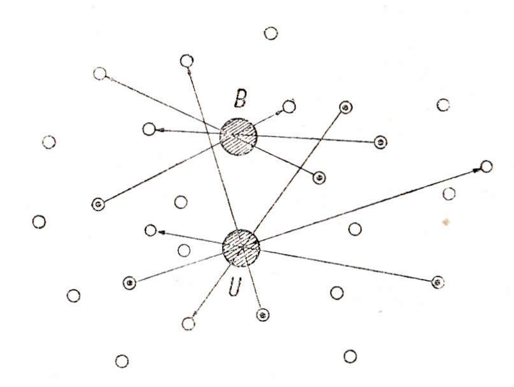


Abb. 6. Bewußte und unbewußte Transformation von *EI* auf unimprägnierte Träger.

Die plausible Annahme über den Ablauf des Memorationsvorganges besteht nun darin, daß diese Tätigkeit, die im Wesentlichen aus einer Transformation besteht und in der Skizze durch die Pfeile angedeutet ist, einerseits um so intensiver ist, je mehr imprägnierte Träger vorhanden sind, also proportional N ist. Anderseits ist sie aber auch proportional der Anzahl der freien Träger $N_0 - N$; denn sind keine freien Träger vorhanden, kann eine Transformation nicht stattfinden.

Die Anzahl der in der Zeiteinheit stattfindenden Transformationen und damit gleichzeitig der in der Zeiteinheit gebildeten Imprägnationen ergibt sich somit zu

$$\mu N (N_0 - N), \qquad (18)$$

wobei der Proportionalitätsfaktor μ „Memorationskoeffizient" heißen möge. Er besteht aus zwei Teilen. Der eine gibt die Anzahl der Hervorhebungen (Abtastungen) pro Zeiteinheit ν eines imprägnierten Trägers an und stellt damit die Proportionalität mit N her. Der zweite erfüllt die Funktion eines Wirkungsgrades η, mit der eine Abtastung eines imprägnierten Trägers zu einer erfolgreichen Transformation auf noch freie Träger $N_0 - N$ der Nachbarschaft führt. Also

$$\mu = \nu \cdot \eta. \qquad (19)$$

Die beiden Größen ν und η werden bezeichnet mit:

ν Tastfrequenz,
η Transformationswirkungsgrad.

Jetzt ist es möglich, den Gesamtablauf der Gedächtnisfunktion in einer Differentialgleichung darzustellen:

$$\frac{dN}{dt} = -N \cdot \lambda + \mu\, N\,(N_0 - N). \tag{20}$$

Das erste negative Glied der rechten Seite von Gl. (20) stellt den Zerfall imprägnierter Träger in der Zeiteinheit dar, das zweite positive Glied hingegen die durch den ständigen Memorationsvorgang in der Zeiteinheit neu imprägnierten Träger.

Zusammenfassung der Konstanten und Trennung der Variablen führt auf die Integrale

$$\int \frac{dN}{\mu\, N^2 - (\mu\, N_0 - \lambda)\, N} = -\int dt + C.$$

Das Integral der linken Seite löst man durch Partialbruchzerlegung, während die Integrationskonstante C durch die Anfangsbedingung festgelegt ist, nämlich $N = N_0$ zur Zeit $t = 0$.

Nach einfachen Umformungen erhält man schließlich das neue Gesetz der Gedächtnisfunktion (kurz G-Funktion) in der Gestalt:

$$N = N_0 \frac{\mu\, N_0 - \lambda}{\mu\, N_0 - \lambda \cdot e^{-(\mu N_0 - \lambda)\, t}}. \tag{21}$$

Führen wir wieder für N/N_0 die Größe n ein und setzen zur Vereinfachung der Schreibweise

$$\mu\, N_0 = \varkappa, \tag{22}$$

so wird aus (21):

$$n = \frac{\varkappa - \lambda}{\varkappa - \lambda \cdot e^{-(\varkappa - \lambda)\, t}}. \tag{23}$$

Es ist bemerkenswert, daß für $t \to \infty$, also nach einer langen Zeit, die nach dem Erlebnis verstrichen ist, ein endlicher Rest von *BI* vorhanden ist. Denn für $t \to \infty$ strebt die Exponentialfunktion zu Null und es wird

$$n_\infty = \frac{\varkappa - \lambda}{\varkappa} = 1 - \frac{1}{\varkappa/\lambda}. \tag{24}$$

Das bedeutet einen wesentlichen Fortschritt gegenüber der in § 1 und § 2 diskutierten Annahme über die Verflüchtigung von *BI*, die noch keinen Memorationsvorgang kennt und nach der ein endlicher Rest von *BI* nach unendlicher Wartezeit nur durch die Annahme unverflüchtigbarer *BI* erklärt werden konnte, also im wesentlichen unerklärt bleiben mußte.

Der schematisch skizzierte Verlauf der durch die Gl. (23) ausgedrückten Funktion ist in Abb. 7 dargestellt.

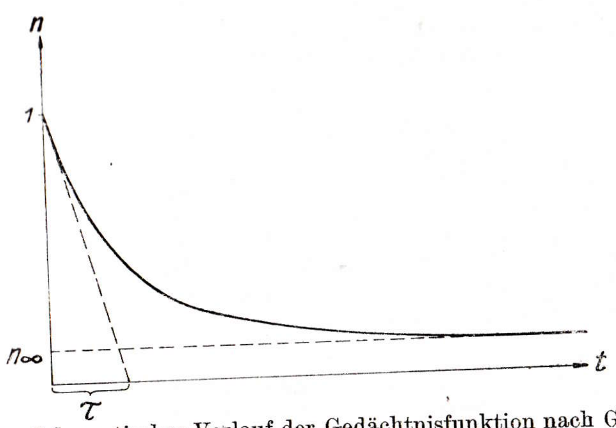


Abb. 7. Schematischer Verlauf der Gedächtnisfunktion nach Gl. (23).

Für $t = 0$ beginnt sie definitionsgemäß bei $n = 1$ und sinkt für sehr kleine Zeiten t zunächst linear ab. Die Steigung der Kurve an dieser Anfangsstelle erhält man sofort durch Differentiation der Gl. (23) und Nullsetzen von t. Man erhält dafür:

$$\left(\frac{dn}{dt}\right)_{t=0} = -\lambda. \tag{25}$$

Da die Verlängerung der Tangente im Punkt $t = 0$ auf der Zeitachse den Wert $1/\lambda$ abschneidet, nach Gl. (17) aber $1/\lambda$ der mittleren Lebensdauer τ eines imprägnierten Trägers entspricht, so kann diese sofort aus der Form der Kurve abgelesen werden. Schließlich fällt die Funktion monoton ab und nähert sich für große Zeiten t asymptotisch ihren durch n_∞ definierten Grenzwert.

Sind bei einer gemessenen Kurve diese beiden Werte τ, n_∞ abgelesen, so lassen sich aus diesen beiden Angaben durch die Gl. (24) (25) die beiden die Form der Kurve bestimmenden Konstanten $\lambda, \varkappa$ leicht ermitteln.

$$\lambda = \frac{1}{\tau}. \tag{26}$$

$$\varkappa = \frac{1}{\tau} \frac{n_\infty}{1 - n_\infty}. \tag{27}$$

Es wäre ein großer Erfolg für die Theorie, wenn es möglich wäre, lediglich durch die Bestimmung dieser beiden Konstanten aus den Formeln (26) (27), ohne einen Ansatz über eine etwaige

Verteilung der N_0 über die μ oder λ, wie es ja durchaus der Wirklichkeit entsprechen könnte, eine hinreichende Annäherung an die von **Ebbinghaus** gemessene Kurve zu erreichen.

Die Werte von τ und n_∞ wurden durch Ausgleichsrechnung bestimmt. Man erhält in dem von **Ebbinghaus** gemessenen Fall für

$$\tau = 0{,}412 \text{ Tage}$$
$$n_\infty = 0{,}118 \qquad (28)$$

damit wird nach (26) (27)

$$\lambda = 2{,}430$$
$$\varkappa = 2{,}755. \qquad (29)$$

Werden diese Werte in Gl. (23) eingesetzt, so erhält man die Gedächtnisfunktion, wie sie sich aus der Theorie des Trägerzerfalls und der Memoration ergibt zu:

$$n = \frac{0{,}325}{2{,}755 - 2{,}430 \cdot e^{-0{,}325\, t}}. \qquad (30)$$

Sowohl die von **Ebbinghaus** gemessene Kurve wie die durch Gl. (30) dargestellte sind in Abb. 8 aufgezeichnet.

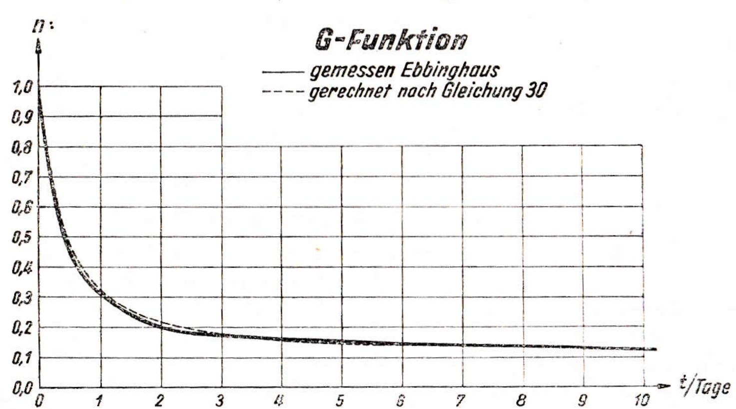


Abb. 8. Gedächtniskurve. Vergleich von Gl. (30) mit dem von **Ebbinghaus** gemessenen Vorgang.

Die Übereinstimmung kann durchaus als befriedigend bezeichnet werden. Der mittlere Fehler beträgt 5,1%, also weniger als das Doppelte gegenüber der in § 1 gefundenen Kurve (14), die zur Anpassung sechs verfügbare Konstanten hatte, während hier nur zwei Größen, nämlich $\varkappa$ und λ, zur Bestimmung ausreichen müssen.

Bedenkt man noch, daß sicher bei den einzelnen Versuchspersonen auf verschiedene Merkwerte ein verschieden großes

Gewicht gelegt wird, also die Memoration $\varkappa$ für gewisse Gruppen von *EI* verschieden groß ist — dieser Umstand bei der Aufstellung der Formel (30) aber noch völlig unberücksichtigt gelassen wurde, also die Theorie sozusagen erst in ihrem Skelett zur Anwendung gebracht wurde —, so geht man mit der Vermutung sicherlich nicht fehl, mit den beiden Annahmen des Trägerzerfalls und der Memoration wesentliche Merkmale der Gedächtnisfunktion getroffen zu haben.

Geht man anderseits von der Richtigkeit der hier dargestellten Überlegungen aus, so ist die gute Übereinstimmung der Messung mit der Theorie ein Ausweis für die Sorgfältigkeit der Untersuchungen von **Ebbinghaus**, und besonders der psychologisch geschickt gewählten, für die Versuchspersonen gleichbedeutungsvollen *EI*.

Es scheint, nach dieser Bestätigung zumindest der Grundlage der Theorie durch das Experiment, jetzt nicht unangebracht, die durch die Gl. (23) beschriebene G-Funktion näher zu diskutieren (s. Anhang § 2).

Zunächst fällt auf, daß Formel (23) nur solange besteht, als $\varkappa > \lambda$ ist, das heißt, solange die „Memoration" — wie $\varkappa$ genannt werden möge — größer als der Zerfall λ bleibt. Wird $\varkappa < \lambda$, so vertauschen sich alle Vorzeichen und (23) geht über in:

$$n = \frac{\lambda - \varkappa}{\lambda \cdot e^{(\lambda - \varkappa)t} - \varkappa}. \qquad (31)$$

Das Eigentümliche dieser Funktion liegt darin, daß sie für große Zeiten ($t \to \infty$) nicht mehr wie (23) gegen einen endlichen Grenzwert von n_∞ läuft, sondern wegen des unbeschränkten Anwachsens der Exponentialfunktion im Nenner rasch gegen Null strebt. Das bedeutet aber psychologisch, daß bei ungenügender Memoration einmal gewonnene *BI* nach einiger Zeit völlig aus dem Gedächtnis verschwinden. In der Memoration besitzt man also ein Mittel, um gewisse *BI*, die einem wichtig oder unwichtig erscheinen, im Gedächtnis haften oder verschwinden zu lassen, um die so frei gewordenen Träger für andere, einem wichtiger erscheinende *BI* einzusetzen.

Der Memorationsvorgang, der ständig und im wesentlichen unbewußt arbeitet, sichert uns den Besitz unseres Wissens. Für gewisse, uns besonders wichtig erscheinende *BI* kann er auch ins Bewußtsein gelenkt werden, um eine möglichst große Zahl von Trägern N_0 an den Vorgang beteiligen zu lassen. Damit steigt auch nach Gl. (22) der Wert von $\varkappa = \mu\, N_0$, falls aus irgend welchen Gründen der Memorationskoeffizient μ nicht überlastet werden soll.

Die Größe λ, die Zerfallskonstante eines imprägnierten Trägers, kann hierbei als aus der Struktur der Träger physiologisch gegeben angesehen werden.

Um ein Gefühl zu bekommen, wie die „Erinnerung“ n_∞ an ein Erlebnis mit der Intensität der Memoration gekoppelt ist, wurde Gl. (24), die diesen Zusammenhang darstellt, in der Abb. 9 aufgezeichnet.

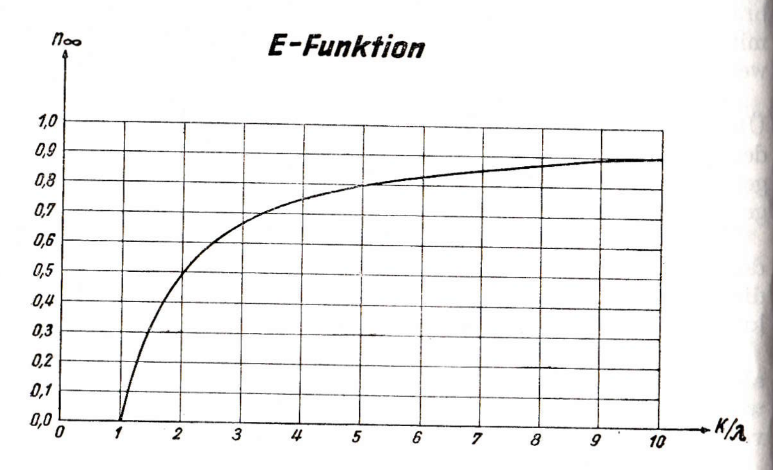


Abb. 9. Erinnerungsfunktion. Abhängigkeit des von einem Erlebnis in Erinnerung bleibenden Anteils n_∞ von Memoration $\varkappa$ und Zerfall λ.

Als Abszisse sind die Werte $\varkappa/\lambda$ eingetragen, als Ordinate die Werte von n_∞, die als Erinnerung an ein Erlebnis aufgefaßt werden können, welches sich vor genügend langer Zeit abgespielt hat. Irgend ein Wert von n_∞, z. B. $n_\infty = 0{,}3$ bedeutet dann, daß man sich noch an 30% der ursprünglichen, von einem Ereignis herrührenden Einzelheiten erinnern kann.

Für $\varkappa/\lambda \leq 1$, also solange $\varkappa/\lambda$ kleiner als 1 ist, existieren keine Erinnerungsvorstellungen von diesem Ereignis mehr. Erst wenn $\varkappa > \lambda$ wird — das heißt $\varkappa/\lambda > 1$ — bleiben gewisse Einzelheiten in Erinnerung, die rasch zunimmt, wenn nur ein klein wenig intensiver memoriert wird. Im Ebbinghausschen Beispiel beträgt $\varkappa/\lambda = 1{,}13$. Das entspricht einer Erinnerung n_∞ von etwa 12%. Schon eine kleine Steigerung der Memoration $\varkappa$, würde eine wesentliche Verstärkung der Erinnerung herbeiführen. Bald sind 30% erreicht ($\varkappa/\lambda = 1{,}4$). Um sich jedoch einen großen Anteil eines Erlebnisses als Erinnerung zu sichern, sind schon sehr starke Memorationen notwendig, wie man an dem flachen Verlauf der Erinnerungsfunktion für größere Werte von n_∞ erkennt. 70 bis 80% Erinnerung bedeuten schon gewaltige Memorationsleistungen, die etwa das Vier- bis Fünffache des Üblichen

erreichen müssen. Da in $\varkappa$ aber, gemäß (22) auch N_0 die Anzahl der erstimprägnierten Träger steckt, so ist verständlich, daß bedeutende Ereignisse infolge der großen N_0 ohne allzu starke Belastung des Memorationskoeffizienten μ eine starke Erinnerung hinterlassen.

Durchaus scheint die von selbst aus der Theorie fließende E-Funktion (24) dem Gefühl für diese Tatsachen zu entsprechen.

Sehr interessant ist es, die in der Zeiteinheit durchgeführten Transformationen, und damit die durch den Memorationsvorgang in der Zeiteinheit gebildeten Imprägnationen zu studieren. Diese Größe werde als „Gesamtmemoration“ M bezeichnet.

Sie ist unmittelbar aus der Differentialgleichung der Gedächtnisfunktion (20) zu gewinnen:

$$M = \mu\, N\,(N_0 - N). \qquad (32)$$

Eine genaue Diskussion dieser Funktion (s. Anhang § 3) zeigt, daß für gewisse Werte von $\varkappa/\lambda$ die Gesamtmemoration M Maximalwerte im Laufe der Zeit annimmt, um dann entweder gänzlich zu Null zu werden (bei den zu vergessenden BI) oder schließlich (bei den BI, die des Merkens wert sind) einen konstanten Endwert für $t \to \infty$ anzustreben.

In dem von Ebbinghaus gemessenen Fall erreicht die Gesamtmemoration nach 0,474 Tagen ihr Maximum, um dann etwa nach einer Woche auf den stationären Endwert der Gesamtmemoration herabzusinken, der die Erinnerung n_∞ im Gedächtnis fixiert. Dieser Endwert beträgt etwa 40% des eben erwähnten Maximalwertes der Gesamtmemoration.

Auch diese Erscheinung ist ohne weiteres psychologisch interpretierbar. Es ist das Gefühl der „Nachwirkung“, das irgendein Erlebnis in uns auslöst, und die oft mehrere Stunden nach diesem Erlebnis ihren Höhepunkt erreicht, um dann wieder allmählich abzusinken. In der M-Funktion ist dieses Phänomen mathematisch erfaßt und fließt ebenfalls zwanglos aus der Theorie.

Der bisher erfolgreiche Gedanke, das Bewußtwerden von im Gedächtnis haftenden BI durch einen Transformationsvorgang zu erklären, verlockt zu dem Versuch, diesen Gedanken auf das Gesamtphänomen des Bewußtseins auszudehnen. Hierzu ist nur notwendig anzunehmen, daß den Sinnesorganen die Möglichkeit gegeben ist, eine besondere Gruppe von kurzlebigen Trägern, die T_1 genannt werden mögen, zu imprägnieren. Die Kurzlebigkeit dieser Trägertype ist deshalb notwendig, um den raschen Wechsel der Sinneseindrücke auch aufnehmen zu können, denn ein imprägnierter Träger ist ja nicht mehr imprägnabel. Mit der Annahme einer mittleren Lebensdauer τ_1 von etwa 10^{-3} sec, die

dieser Trägertyp T_1 besitzen möge, käme man ohne weiteres aus. Ein solcher, durch ein Sinnesorgan imprägnierter Träger T_1 überträgt nun sofort über das Bewußte oder Unbewußte seine Imprägnation auf die Träger T_2 der *EI* von wesentlich längerer Lebensdauer $\tau_2 = 3{,}56 \cdot 10^4$ sec, die wir in dieser Erörterung schon ausführlich kennengelernt haben. Von jetzt ab beginnt der schon bekannte Memorationsvorgang. Die Skizze (Abb. 10) möge diesen Vorgang veranschaulichen.

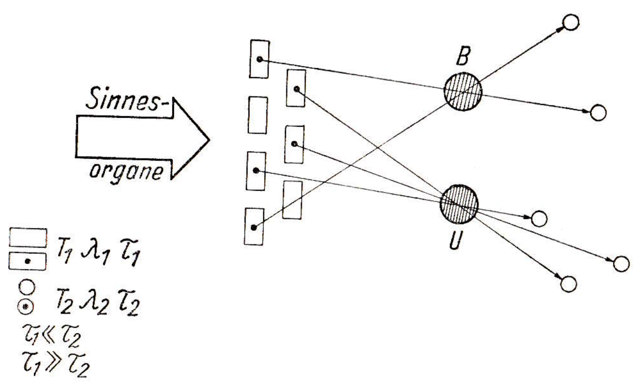


Abb. 10. Das Erlebnis der Umwelt. Transformationsschema der kurzlebigen imprägnierten Träger T_1 der Sinneseindrücke auf die langlebigen Träger T_2 der Erinnerung.

Die Transformationen dieser Art sollen in der Regel einsinnig erfolgen, also stets derart, daß Träger der Type T_1 über das Bewußte (B) oder das Unbewußte (U) Träger der Type T_2 imprägnieren, aber nicht umgekehrt. „In der Regel" soll heißen beim gesunden Menschen. Der Pathologie sind verkehrt laufende Imprägnationen bekannt (Halluzinationen). Die in Abb. 10 skizzierten Transformationen kann man unmißverständlich etwa in folgende symbolische Transformationsformeln schreiben:

$$T_1 \to B \to T_2 \tag{33}$$

oder

$$T_1 \to U \to T_2. \tag{34}$$

Diese beiden Transformationen (33) (34) sollen mit „bewußtem und unbewußtem Ereigniserlebnis" bezeichnet werden.

Im folgenden seien in dieser Schreibweise einige andere häufig vorkommende Transformationen nebst ihrer Bezeichnung aufgeführt.

$\ldots \to B \to T_2$	bewußtes	Erinnerungserlebnis	(35)
$\ldots \to U \to T_2$	unbewußtes	Erinnerungserlebnis	(36)
$\ldots \to U \to T_1 \to B \to T_2$		Halluzination	(37)
$\ldots \to U \to T_2 \to B \to T_2$		Latenzerlebnis	(38)
$\ldots \to U \to T_2$		Traumerlebnis	(39)
$\ldots$		Säuglingsdasein	(40)

Unter Latenzerlebnis ist jener bekannte Vorgang gemeint, bei dem gewisse Einzelheiten eines Erlebnisses über das Unbewußte der Memoration überantwortet werden, und erst später (etwa unter Hypnose) ins Bewußtsein gerufen werden. Da wir eine gewisse Empfindung dafür haben, ob eine Transformation von T_1 oder T_2 ausgegangen ist, also ein Ereignis — oder Erinnerungserlebnis ist, so kann ein solcher Vorgang, wenn er in Bruchteilen einer Sekunde ausgeführt wird, das manchmal vorkommende Gefühl bei einer Situation auslösen: „Das habe ich schon irgendwann einmal erlebt."

Der jedem Menschen immanente tiefe metaphysische Zweifel, den Walter von der Vogelweide ausspricht: „ist mir min leben getroumet, oder ist ez wâr", ist insofern für die Theorie eine Stütze, als hier die große Ähnlichkeit der Vorgänger $T_1 \to B \to T_2$ und $T_2 \to B \to T_2$ ausgedrückt wird.

Formel (40) besagt, daß der Säugling noch keine Memorationstätigkeit kennt. Erst durch die ständige Imprägnierung von T_1 wird in den ersten Monaten eine Transformationstätigkeit angeregt.

Die starke Erinnerung gewisser Kindheitserlebnisse erklärt sich aus der großen Anzahl N_0 freier Träger, gemäß der Formel (24)

$$n_\infty = 1 - \frac{1}{N_0\, \mu/\lambda}, \tag{41}$$

worin nach Gl. (22) $\varkappa$ durch $\mu\, N_0$ ersetzt wurde.

Abschließend zu diesem Paragraphen kann man bemerken, daß der Versuch, das Gesamtphänomen des Bewußtseins aus einem Transformationsprozeß zweier mit *EI* imprägnierbarer Trägertypen zu erklären, im ersten Ansatz nicht auf unüberwindliche Schwierigkeiten stößt.

§ 4. Biophysikalische Deutung.

Die im vorigen Paragraphen entwickelte Psychologie baut sich im wesentlichen auf fünf rein phänomenologischen Begriffen auf:

1. Elementarbewußtseinsinhalte (*EI*),
2. Träger der *EI*,
3. Trägerzerfall,
4. Memoration (als Leistung),
5. Transformation (als Auswahl).

Es wäre nun ein außerordentlich glücklicher Umstand für die dargelegte Theorie, wenn es zumindest für einen Teil der aufgezählten Begriffe gelänge, ein konkretes physikalisches Bild zu entwerfen.

Dieser glückliche Umstand scheint sich in der Möglichkeit zu bieten, das seltsame Verhalten der Träger und ihren Zerfall durch das von der Quantentheorie erforschte Verhalten der Mikrozustände der Materie zu erklären.

Einen Hinweis auf diesen Gedanken findet man schon in der Differentialgleichung (1), die den Vergessensvorgang in gleicher Weise beschreibt, wie die theoretische Physik den Vorgang des radioaktiven Zerfalls. Auch bei jenem handelt es sich um einen mikrophysikalischen Einzelprozeß, der im statistischen Mittel der Gl. (1) genügt.

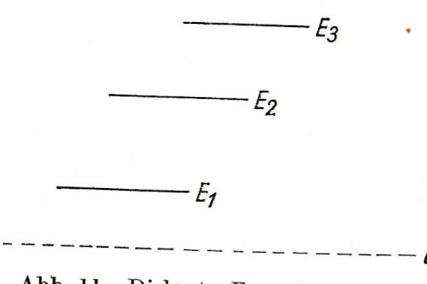


Abb. 11. Diskrete Energiestufen der Mikrozustände der Materie.

Nun wird man aber nicht, wie bei der Radioaktivität, die biophysikalischen Vorgänge im Atomkern zu suchen haben, sondern eher in Strukturänderungen der zu Molekülkomplexen vereinigten Träger der EI, die ja ebenfalls nur quantenmäßig definierter Zustände fähig sind.

Es ist vielleicht am Platz, näher auf die Mikrozustände der Materie einzugehen.

Die Mikrozustände der Materie, die sich als Atomkerne, angeregte, ionisierte oder neutrale Atome, Moleküle oder Molekülkomplexe offenbaren, besitzen gewisse Energieniveaus E_i, die ihren inneren Zusammenhang bewirken. Jeder Konfiguration der Elementarteilchen (Neutronen, Protonen, Elektronen, ...) innerhalb des Komplexes kommt ein bestimmtes Energieniveau zu.

Die Quantentheorie lehrt nun, daß diese Energieniveaus E_i keineswegs stetig ineinander übergehen, sondern daß ein bestimmter Komplex, sagen wir ein Atomkern, nur ganz diskrete Energieniveaus einzunehmen fähig ist (s. Abb. 11).

Die Umwandlung von einem etwa niedrigen Energieniveau E_i zum nächst höheren E_{i+1}, kann nur unter Aufnahme dieser Energiedifferenz $\Delta E = E_{i+1} - E_i$ erfolgen, und umgekehrt.

Warum ein solcher Mikrozustand nicht sofort von selbst das niedrigste Energieniveau zu erreichen sucht, wie ein Stein, der von einer Bergspitze aus ins Tal stürzt, wird von der Quantentheorie dadurch erklärt, daß sie zeigt, daß zwischen den einzelnen Energieniveaus sogenannte Potentialberge liegen, die die Stabilität des jeweiligen Zustandes sichern (Abb. 12).

Es entsteht also ein ähnliches Bild, wie bei einem Stein, der nicht von selbst in ein benachbartes, tieferes Tal gelangen kann, da er sonst den Gebirgskamm übersteigen müßte. Zum Unterschied von der klassischen Mechanik, nach der dieser Stein absolut stabil ist, ist jedoch in der Quantenmechanik kein Mikrozustand absolut stabil (außer am absoluten Nullpunkt $T = 0$), sondern für jeden Zustand läßt sich eine mittlere Wartezeit τ angeben, die vergehen muß, damit schließlich doch der nächste niedere Zustand spontan erreicht wird (Tunneleffekt). In der Abb. 12 ist dieser nächst niedere Zustand mit E_1 bezeichnet. Der spontane Atomkernzerfall der radioaktiven Elemente ist ein typisches Beispiel für diesen Vorgang.

Abb. 12. Stabilität eines Mikrozustandes E_2, gesichert durch einen Potentialberg $E_3 - E_2$.

Diese mittlere Wartezeit τ, die nach **Schrödinger** den Stabilitätsgrad des Zustandes E_2 kennzeichnet, ist nun in sehr starkem Maß von der Energiedifferenz E_z abhängig, die zur Überwindung des Potentialwalles nötig ist. Also in Abb. 12 von $E_z = E_3 - E_2$.

Die Quantentheorie liefert hierfür einen zahlenmäßigen Zusammenhang. Es ist nämlich

$$\tau = \tau_0 \, e^{\frac{E_z}{k \cdot T}} . \qquad (42)$$

Es bedeuten hierbei τ_0 eine Konstante, die für Atome oder Moleküle von der Größenordnung 10^{-14} sec ist, und etwa der Dauer der Umlaufszeit der einzelnen Elementarteilchen im System entspricht, E_z die Energiedifferenz des Potentialwalles ($E_3 - E_2$ in Abb. 12), $k = 1{,}38 \cdot 10^{-16}$ erg/Grad, die **Boltzmann**sche Konstante und T die absolute Temperatur.

Ein Kollektiv von N Teilchen, die alle für sich dieser Energieniveaus fähig sind und im Mittel die Wartezeit τ verstreichen lassen, um von dem höheren Niveau in das niedere zu gelangen, folgt dann in bekannter Weise dem Zerfallsgesetz:

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{N}{\tau} . \qquad (43)$$

Diese Gleichung geht sofort in die in den vorigen Paragraphen benützte Differentialgleichung für den Vergessensvorgang über, wenn man für die mittlere Wartezeit τ die Zerfallskonstante λ einführt, gemäß

$$\tau = \frac{1}{\lambda}. \tag{44}$$

Die Analogie des Verhaltens der Materie in ihren Mikrozuständen mit dem Verhalten der mit *EI* imprägnierten Träger ist zu bestechend, um nicht zu versuchen, die hier entwickelten Prinzipe auch auf jene zu übertragen.

Der Gedanke, quantentheoretische Überlegungen auf biologische Vorgänge anzuwenden, ist durchaus nicht neu. In glänzenden Arbeiten haben Timoféeff-Ressovsky, Delbrück, Zimmer, Jordan und Schrödinger gezeigt, daß das Verhalten der Träger der Erbmerkmale, der „Gene" (Genus = Art) durch quantenmechanische Gesetze gelenkt wird.

Im Anschluß an diese Gedanken soll hier ebenfalls versucht werden, das Verhalten der Träger der Erinnerungsmerkmale der „Meme" (Memoria = Erinnerung) durch die quantisierten Mikrozustände der Materie zu erklären.

Nach dem Vorgang Schrödingers[1] soll ein „Mem", der Träger eines *EI* aufgefaßt werden als aperiodischer Kristall, der verschiedener quasi-isomerer Energiezustände fähig ist. Imprägnation eines Mems bedeutet dann, daß das Mem in einen höheren Energiezustand gehoben wird. Es verharrt dann in diesem höheren Niveau gemäß seiner mittleren Wartezeit τ, um dann wieder spontan in den niederen Ausgangszustand zurückzufallen. Es ist dann wieder für eine neue Imprägnation frei. Imprägnation bedeutet also Energieaufnahme, Zerfall: Energieabgabe.

Es ist nun auf Grund der Ebbinghausschen Messung möglich, die Höhe des Potentialwalls in Abb. 12 zu berechnen, der das Mem in seinem imprägnierten Zustand stabilisiert. Drückt man alle Werte im cgs-System aus, so ergibt sich für die mittlere Wartezeit τ nach Gl. (28)

$$\tau = 0{,}412 \text{ Tage} = 3{,}74 \,.\, 10^4 \text{ sec}.$$

Der zu überwindende Potentialberg wird durch Logarithmierung von Gl. (42) gefunden. Man erhält

$$E_z = k\,T \ln \frac{\tau}{\tau_0}. \tag{45}$$

Da das Mem sich auf Körpertemperatur befindet, ist

$$T = 273 \,.\, 2 + 36 \,.\, 6 = 310° \text{ K}.$$

[1] E. Schrödinger: „What is Life?" Cambridge University Press 1945; deutsch: „Was ist Leben?" A. Francke-Verlag, Bern. 1946.

Somit sind alle Größen in (45) bestimmt und E_z, die Zerfallsenergie wird nach Einsetzen aller Werte ausgedrückt in Elektronenvolt

$$E_z = 1{,}4 \text{ eV}. \tag{46}$$

Die Berechnung der Höhe des stabilisierenden Potentialwalles genügt aber noch nicht, um den Vorgang der Imprägnation und des Zerfalls eines Mems hinreichend zu beschreiben. Es ist nämlich zur Vervollständigung des Bildes notwendig, dafür zu sorgen, daß spontane Imprägnationen zu sehr seltenen Vorgängen werden. Sie würden nämlich ein falsches Bild von der Erfahrungswelt hervorrufen. Die Wartezeit für eine Selbstimprägnation, oder auch die für eine Imprägnation notwendige Energie, muß daher wesentlich größer sein als die Zerfallszeit bzw. die Zerfallsenergie.

Dieses Bild der Irreversibilität der Imprägnation fließt von selbst aus der Quantenvorstellung stabiler Mikrozustände. Denn die Energie $E_3 - E_1$ (Abb. 12) die zur Imprägnation aufgebracht werden muß, ist ja größer als $E_3 - E_2$, die Energie, die beim Zerfall überwunden wird. Setzt man die mittlere Wartezeit τ_s einer Selbstimprägnation etwa zehn Menschenalter, also etwa

$$\tau_s = 2 \,.\, 10^{10} \text{ sec},$$

so liefert Gl. (45) die Imprägnationsenergie E_I zu

$$E_I = 1{,}83 \text{ eV}. \tag{47}$$

Man kann jetzt das Niveauschema eines Mems quantitativ aufzeichnen (Abb. 13). Aus dieser Darstellung entnimmt man die bei jeder Imprägnation aufzuwendende, oder bei jedem Zerfall frei werdende Energiemenge $\varepsilon = E_2 - E_1$. Sie beträgt:

$$\varepsilon = 0{,}43 \text{ eV}. \tag{48}$$

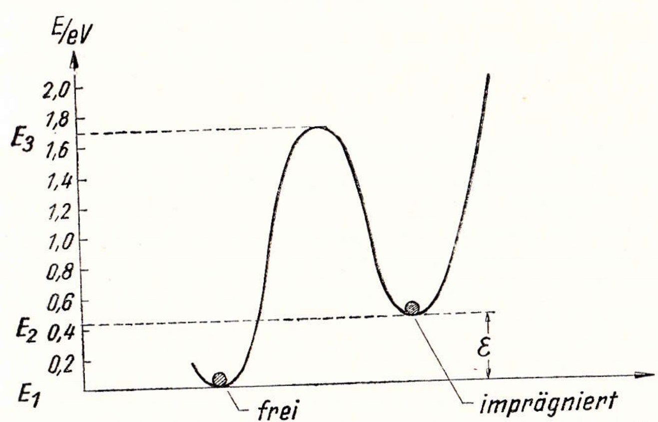


Abb. 13. Das Niveau-Schema eines Mems vom Typus T_2.

Eine weitere Folgerung, die sich aus der Quantenstruktur der Meme ergibt, ist die Temperaturabhängigkeit der mittleren Wartezeit τ und damit der Zerfallskonstanten λ.

Gl. (42) gestattet, diese Abhängigkeit zu berechnen. Bezeichnet man mit Θ die Temperaturerhöhung über die normale Körpertemperatur von 36,6° C, mit λ_1 die Zerfallskonstante bei 36,6° C, so wird mit $E_z = 1{,}4$ Elektronenvolt die Zerfallskonstante

$$\lambda = \lambda_1 \, e^{0{,}138\,\Theta}. \tag{49}$$

Die Abb. 14 bringt Gl. (49) zur Darstellung, wobei ϑ die Körpertemperatur bedeutet.

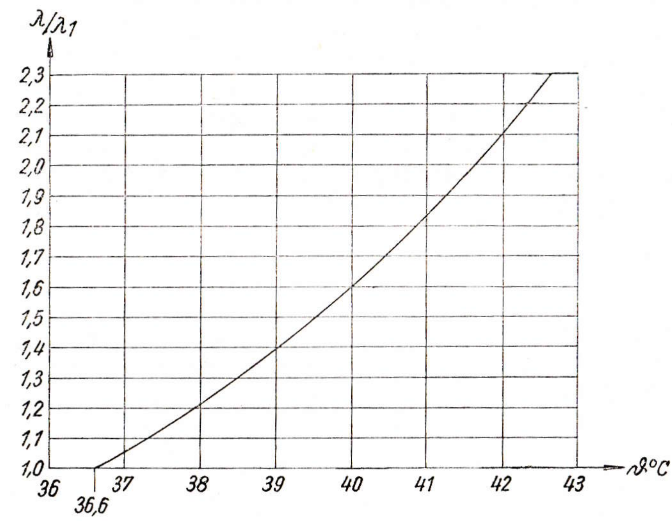


Abb. 14. Zunahme der Zerfallskonstanten bei erhöhter Körpertemperatur.

Was diese Zunahme des Memzerfalls bei erhöhter Körpertemperatur pathologisch bedeutet, soll im nächsten Paragraphen näher ausgeführt werden.

Genau die gleichen Überlegungen, wie sie soeben für die langlebigen Meme vom Typus T_2, die Träger der *EI* angestellt wurden, können für den kurzlebigen Trägertyp T_1, den Übermittlern der Sinneseindrücke, gemacht werden. Hier kommt man zu kleineren Energiedifferenzen, die sich um etwa 1 Elektronenvolt herum bewegen. Leider liegen hiefür außer der früheren Schätzung der mittleren Wartezeit von $\tau_1 = 10^{-3}$ sec noch keine auswertbaren Messungen vor.

Dennoch soll hier versucht werden, ein rohes Bild über den gesamten Leistungsbedarf der Hirntätigkeit zu entwerfen. Ist die Anzahl der laufend imprägnierenden kurzlebigen Meme vom Typus T_1 die Größe z_1, und die Anzahl der laufend von T_1 imprägnierten Meme vom langlebigen Typus T_2 die Größe z_2, dann gilt im Gleichgewichtsfall, das heißt, wenn in der Zeiteinheit ebensoviel Träger vom Typ T_2 von T_1 aus imprägniert werden, als Träger vom Typ T_2 zerfallen

$$z_2/z_1 = \tau_2/\tau_1. \tag{50}$$

Dieser Zustand kennzeichnet 100% Aufmerksamkeit. Mit den gemessenen und geschätzten Werten von τ_2 und τ_1

$$\tau_2 \sim 10^4$$

$$\tau_1 \sim 10^{-3}$$

wird das Verhältnis

$$z_2/z_1 = 10^7. \tag{51}$$

Eine völlig andere Überlegung gestattet ebenfalls das Verhältnis der Anzahlen der beiden Memtypen abzuschätzen. Die Anzahl z_1 der die Sinneseindrücke vermittelnden Meme ist sicherlich proportional der Oberfläche O des Lebewesens. Also

$$z_1 = c_1 \, . \, O, \tag{52}$$

während die Anzahl z_2, der die Eindrücke festhaltenden Meme, proportional dem Volumen der Hirnsubstanz und damit dem Volumen V des Lebewesens ist.

$$z_2 = c_2 \, . \, V. \tag{53}$$

Die Oberfläche geht nun mit dem Quadrat der Lineardimension L des Lebewesens, während das Volumen der dritten Potenz von L folgt. Für das Verhältnis z_2/z_1 erhält man somit:

$$\frac{z_2}{z_1} = \frac{c_2}{c_1} L. \tag{54}$$

Nimmt man zunächst ganz grob an, daß die Oberflächendichte c_1 der Meme größenordnungsmäßig der Volumsdichte c_2 gleichkommt, dann wird:

$$c_1 = l \, . \, c_2, \tag{55}$$

wenn l die Lineardimension einer Memzelle darstellt. Setzt man (55) in (54), so wird das Verhältnis

$$\frac{z_2}{z_1} = \frac{L}{l}. \tag{56}$$

Aus zahlreichen Schätzungen von Zellengrößen, wie der Größenmessungen von Mikroorganismen, kann man die Größenordnung

der Lineardimension von einer Memzelle etwa zu 10^{-4} cm angeben. Setzt man beim Menschen für L etwa 10^3 cm, so wird:

$$\frac{z_2}{z_1} = 10^7, \tag{57}$$

in Übereinstimmung mit Gl. (51).

Diese Überlegung soll im wesentlichen zeigen, daß die hier entwickelten Gedanken, zumindest in groben Zügen, keine allzu große Unstimmigkeiten aufweisen.

Gl. (56) lehrt, daß mit abnehmender Lineardimension des Individuums ebenfalls das Verhältnis der Gedächtnisträger zu den Sinnesrezeptoren abnimmt. Das bedeutet aber eine geringere Möglichkeit nach Erfahrungen zu handeln und BI zu speichern. Solche Lebewesen werden also mehr von der Sinnesseite her ihr Handeln bestimmen als von der Gedächtnisseite.

Ferner läßt sich aus Gl. (53) mit einem Ansatz für c_2, der Anzahl der Memzellen pro Kubikzentimeter Hirnsubstanz, die Anzahl Z_2 aller Gedächtnisträger grob abschätzen. Setzt man näherungsweise

$$c_2 = \frac{1}{l^3}, \tag{58}$$

so wird Z_2, mit $l = 10^{-4}$ und $L = 10^3$, von der Größenordnung 10^{21}. Also:

$$Z_2 = 10^{21}. \tag{59}$$

Die Gesamtleistung aller Meme vom Typus T_2, also die Hirnleistung, läßt sich nun finden. Ist nämlich $\varepsilon\,(T_2)$ der Energiehub eines Mems vom Typus T_2, also gemäß Abb. 13 die Energie $E_2 - E_1$, dann wird die gesuchte Leistung im Mittel

$$\overline{N}_2 = \frac{Z_2\,.\,\varepsilon\,(T_2)}{\tau_2}. \tag{60}$$

Mit der Transformation der Energieeinheiten von Elektronenvolt in Wattsekunden:

$$1\ \text{eV} = 1{,}59\,.\,10^{-12}\ \text{Erg} = 1{,}59\,.\,10^{-19}\ \text{Ws} \tag{61}$$

erhält man die mittlere Hirnleistung in Watt zu:

$$\overline{N}_2 = 1{,}59\,.\,10^{-19}\,\frac{Z_2\,.\,\varepsilon\,(T_2)}{\tau_2}\ \text{Watt}. \tag{62}$$

Es ist aber:

$$\begin{aligned} Z_2 &\sim 10^{21} \\ \tau_2 &\sim 10^4\ \text{sec} \\ \varepsilon\,(T_2) &\sim 1{,}0\ \text{eV} \end{aligned} \tag{63}$$

und somit

$$N_2 \sim 10^{-2}\ \text{Watt}. \tag{64}$$

Dieses Ergebnis scheint den elektroenzephalographischen Messungen nicht zu widersprechen.

Zum Abschluß dieser energetischen Betrachtungen soll noch untersucht werden, in welcher Form die Energie eines in seinen Ruhezustand zurückfallenden Mems abgegeben wird. Gemäß der Quantentheorie wird der Übergang von einem höheren Mikrozustand in einen tieferen, gewöhnlich durch Abgabe eines energetisch gleichwertigen Strahlungsquantes kompensiert. Die Wellenlänge dieser Strahlung wird bestimmt durch die Gleichung:

$$\lambda = \frac{c\,.\,h}{\varepsilon}. \tag{66}$$

Es bedeutet hier λ die Wellenlänge in Zentimeter, c die Lichtgeschwindigkeit, h das Plancksche Wirkungsquantum und ε die Energiedifferenz der beiden Mikrozustände. Mit (61) und den bekannten Werten für c und h wird die gesuchte Wellenlänge

$$\lambda/\text{cm} = \frac{6{,}54\,.\,10^{-27}\,.\,3\,.\,10^{10}}{1{,}59\,.\,10^{-12}\,.\,\varepsilon\,(T_2)/\text{eV}} = \frac{1{,}232\,.\,10^{-4}}{\varepsilon\,(T_2)/\text{eV}}. \tag{67}$$

Setzt man nach (63) für $\varepsilon\,(T_2)$ wieder 0,43 eV ein, so erhält man für die abgestrahlte Wellenlänge eine langwellige Infrarotstrahlung, also eine Wärmestrahlung von der Wellenlänge

$$\lambda \doteq 28\,000\ \text{Å}.^{1)} \tag{68}$$

Diese wird, infolge der großen Absorptionsfähigkeit der Hirnsubstanz für solche Frequenzen, in unmittelbarer Nachbarschaft des zerfallenden Mems absorbiert und löst so eine lokale Erwärmung dieses Gebietes aus. Dies erzeugt gemäß Gl. (49) eine erhöhte Zerfallsbereitschaft der in diesem Bereich liegenden Meme, wodurch makroskopisch beobachtbare periodische Schwankungen angefacht werden können. Ein näheres Studium dieses Vorganges und elektroenzephalographischer Messungen von α- und β-Wellen, kann hier zu weiteren Ergebnissen führen.

Zum Abschluß dieses Paragraphen sollen nun kurz die hier entwickelten Gedanken zusammengefaßt werden. Ein von den Sinnesorganen aufgenommenes Ereignis führt unter Arbeitsleistung zu einer Hebung des Energieniveaus besonderer kurzlebiger, komplizierter Molekülkomplexe, kurz Meme genannt. Deren Imprägnation wird sofort auf eine zweite Gruppe langlebiger Meme übertragen. Für eine solche Übertragung bestehen zwei Möglichkeiten: entweder ein gewisser Sinneseindruck wird gewissen, nur diesem Sinneseindruck zukommenden Memen über-

1) Das sichtbare Gebiet liegt zwischen 4000 Å und 8000 Å.

tragen, so daß bei einer weiteren Übertragung stets nur dieses Abbild „vererbt" wird und damit komforme Erinnerungen auslöst, oder es werden durch gewisse Sinneseindrücke nur gewisse Änderungen an einem Mem vorgenommen, die dann wieder bei der Übertragung konforme Erinnerungen auslösen. Das Bewußtsein selbst — in seiner bewußten oder unbewußten Form — offenbart sich somit als der Transformationsvorgang. Die zweite Gruppe langlebiger Meme hat die Aufgabe, die gehabten BI zu speichern. Als EI offenbart sich hier das in gewisser Weise imprägnierte, also energetisch höhere Mem. Die Speicherung von BI ist aber infolge der spontanen Zerfallserscheinung auch der langlebigen Meme nicht auf die Dauer möglich, wenn nicht ständig eine Transformation von mit EI imprägnierten Trägern auf freie Träger stattfinden würde. Diese Transformation ist eine ständige Hirnleistung, die sich in Watt angeben läßt, und einfach die Arbeit ausdrückt, die notwendig ist, um in der Zeiteinheit eine gewisse Anzahl von Memen der Art T_2 von ihrem niederen Ruheniveau auf das höhere Niveau des imprägnierten Zustandes zu heben. Diese Leistung kann irgendwie, z. B. elektrochemisch, vom Organismus geleistet werden. Sie wurde Memoration genannt. Die Zerfallserscheinung der Meme ergab sich aus der quantenhaften Vorstellung ihrer Struktur. Die Zerfallskonstante selbst offenbart sich also als eine für eine Spezies gegebene Konstante. Hier wird die weitere Forschung erst zeigen müssen, ob man mit nur einer langlebigen Memtype T_2 sein Auslangen finden wird, oder ob noch weitere Memtypen T_3, T_4, ... mit anderen Zerfallskonstanten λ_3, λ_4, ... ermittelt werden können. Dies muß sich sofort an der Änderung der Tangente im Zeitnullpunkt der G-Funktion [Gl. (25)] erkennen lassen. Jedenfalls gestattet dieser Hinweis eine strenge Überprüfung der dargelegten Theorie durch das Experiment: die Tangenten im Zeitnullpunkt der G-Funktion müssen diskontinuierlich gefunden werden.

Von den fünf zu Beginn dieses Paragraphen angeführten Begriffen, die sich aus der phänomenologischen Erschließung des Gesamtphänomens des Bewußtseins ergaben, nämlich:

1. Elementarbewußtseins-Inhalt (EI),
2. Träger der EI,
3. Trägerzerfall,
4. Memoration (als Leistung),
5. Transformation (als Auswahl),

scheinen nach diesem Versuch einer biophysikalischen Deutung derselben, zumindest vier einem plausiblen physikalischen und physiologischen Bild zu entsprechen. Es lautet:

1. { In gleicher Weise gehobenes Energieniveau verschiedenartiger Meme
   oder
   in verschiedener Weise gehobenes Energieniveau gleichartiger Meme,
2. Mem,
3. Tunneleffekt,
4. Hebung des Ruheenergieniveaus auf die höhere Stufe (siehe Anhang § 4).

Der fünfte Begriff, die Transformation als Auswahl, nämlich, warum gerade dieses Mem memoriert wird und ein anderes nicht, warum man sich gerade das merkt und was anderes vergißt, dieses Phänomen wird durch die hier entwickelten Gedanken nicht erfaßt. Das wird aber auch sofort verständlich, wenn man sich klarmacht, daß dieser Bericht sich im wesentlichen mit der Struktur der transformierbaren Elemente befaßt, während das eben angeschnittene Problem ein Problem höherer Ordnung darstellt, nämlich die Frage nach den Eigenschaften der Transformationsgruppe selbst. Wenn ein Vergleich aus der Mathematik zulässig ist, so kann man sagen, hier wurde Zahlentheorie betrieben, das Transformationsproblem gehört zur Funktionentheorie.

Durch diese Bemerkung sind auch die Grenzen der hier entwickelten Gedanken angedeutet.

§ 5. Pathologie der Gedächtnisfunktion.

Im Zuge der bisherigen Darstellung haben sich an verschiedenen Stellen Möglichkeiten gezeigt, einen tieferen Einblick in Abweichungen vom normalen Ablauf der Hirntätigkeit zu gewinnen. Einmal bezogen sich diese Störungen auf jene Größen, die zur Bestimmung der G-Funktion [Gl. (21)] nötig sind, also im wesentlichen auf die Größen $\varkappa$ und λ, das andere Mal auf Störungen im Ablauf von Transformationen [z. B. Transformationsformel (37), „Halluzination"]. Unter Hinweis auf die Schlußbemerkung im vorigen Paragraphen soll im folgenden nur von den Störungen der ersten Art gesprochen werden, also von Abweichungen der Größen $\varkappa$ und λ vom Normalen. Man wird also zwischen $\varkappa$- und λ-Kranken unterscheiden müssen.

Eine Gedächtnisstörung wird dann beobachtet werden können, wenn gegenüber dem Normalen außerordentlich viel vergessen wird. Das bedeutet aber, daß die „Erinnerung" n_∞^- [Gl. (24)] keinen positiven Wert besitzt (s. Abb. 9). Das ist aber stets dann der Fall, wenn

$$\varkappa/\lambda < 1$$

oder

$$\varkappa < \lambda.$$

Aus der großen Steilheit, mit der die E-Funktion [Gl. (24), Abb. 9] aus der Abszissenachse beim Werte $\varkappa/\lambda = 1$ entspringt, entnimmt man die große Gefahr, die ein kleines Absinken der Memoration $\varkappa$ für die Erhaltung des Wissens bedeutet. Dieselbe Gefahr droht aber dem Wissen auch, wenn die Zerfallskonstante λ steigt, denn auch dann wird der Quotient $\varkappa/\lambda$ kleiner. Sichert einem ein Wert von $\varkappa/\lambda = 1{,}3$ eine Erinnerung von 23% aller Einzelheiten eines Erlebnisses (Abb. 9), so braucht bloß $\varkappa$ um etwas mehr als 30% sinken, oder λ um etwas mehr als 30% wachsen und die Erinnerung an dieses Erlebnis ist nach einiger Zeit gänzlich erloschen.

Betrachten wir nach dieser Bemerkung Abb. 14, die das Anwachsen der Zerfallskonstanten λ mit der Körpertemperatur darstellt. Man liest dort ohne weiteres ab, daß ein λ-Zuwachs von 30%, also $\lambda/\lambda_1 = 1{,}30$ bei 38,5°, zu erwarten ist. Dies würde also bedeuten, daß jede fiebrige Erkrankung des Organismus einen großen Teil der Erinnerungen auslöschen würde.

Um sich vor diesem katastrophalen Verlust des im Laufe des Lebens mühsam erworbenen Wissens zu schützen, beginnt jedoch im Fieber der Organismus eine erhöhte Memorationstätigkeit. Mit anderen Worten, er vergrößert $\varkappa$ in demselben Maß, als λ steigt. Dadurch wird das den Wert n_∞ definierende Verhältnis $\varkappa/\lambda$ konstant gehalten. Steigt die Temperatur noch weiter, so kann gar nicht genügend über das Unbewußte memoriert werden, die Transformation der gefährdeten Meme erfolgt über das Bewußtsein: der Kranke phantasiert. Das Anwachsen von $\varkappa$ bei Temperaturzunahme kann also direkt aus Abb. 14 abgelesen werden. Gefühlsmäßig entspricht die Kurve durchaus der Erfahrung.

Ebenso steigt bei erhöhter Körpertemperatur auch die Zerfallskonstante der Meme vom Typus T_1, das heißt die Anzahl der pro Sekunde übermittelbaren Sinneseindrücke wird größer. Man sieht die Umwelt klarer, schärfer, aber man ist auch empfindlicher.

Nebst diesen Erscheinungen hat aber der Fiebernde einen größeren Anfall von Selbstimprägnationen freier Meme zu erwarten, die bei hohen Temperaturen zu Wahnvorstellungen führen können, da durch die erhöhte Memorationstätigkeit die Wahrscheinlichkeit, daß sie vom Bewußtsein bemerkt werden, ohnehin um ein Beträchtliches vermehrt ist.

Diese eben geschilderten Vorgänge, die mit λ-Krankheit bezeichnet werden können, können in gewissen Fällen dazu benützt werden, $\varkappa$-Kranke zu heilen.

Was bedeutet $\varkappa$-Krankheit? Offenbar, wenn $\varkappa$ so klein wird, daß $\varkappa/\lambda$ kleiner wie 1 bleibt. Da $\varkappa$ aber, gemäß den Gl. (19) (22) sich aus den drei Konstanten ν, η, N_0 zusammensetzt:

$$\varkappa = \nu \cdot \eta \cdot N_0, \tag{69}$$

so kann jede Konstante für sich, so wie alle zusammen in den verschiedensten Permutationen, bei $\varkappa$-Krankheit die Störungsursache sein. Sind ν, η, N_0 die normalen, ν^*, η^*, N_0^* die gestörten Werte der drei Größen, so geben zwei Möglichkeiten für drei Elemente $2^3 = 8$ Permutationen. Die folgende Tabelle bezeichnet wieder ohne Stern die gesunden, mit Stern die krankhaften Zustände der fraglichen Größen.

$\varkappa$-Krankheit.

Zustand				Ursache		Therapie
Fall	ν	η	N_0	Fall		
1					Gesundheit	
2	*			2,0	Abtaste Trägheit	Fiebertherapie (?) Konservative Behandlung
				2,1	Willensschwäche	
				2,20	Mangelerscheinung	
				2,21	Vitaminmangel	
				2,22	Hormonmangel	
3		*		3,0	Schlechter Transformationswirkungsgrad	
				3,10	Histologische Störung	Chirurgische Behandlung
				3,11	Alkoholiker	
				3,20	Zu kleine Volumsdichte der Meme	Chirurgische Behandlung
				3,21	Aufgeschwemmte Hirnsubstanz	
4			*	4,0	Störung der Memstruktur	Fiebertherapie
				4,10	„Verstopfte" Meme	
				4,11	Fehlimprägnationen	
				4,12	Doppelimprägnationen	
				4,13	Sterile Meme	
5	*	*			Wie oben mutatis mutandis.	
6	*		*			
7		*	*			
8	*	*	*			

Diese Tabelle bedarf einiger erläuternder Bemerkungen:

Zu 2, 1: Durch eine aus dem Gesamthabitus sich ergebende Trägheit können die sekundlichen Hervorhebungen (Abtastungen) eines imprägnierten Mems unter das normale Maß sinken. Durch eine künstliche Temperaturerhöhung wird nun der Organismus bedroht, seiner letzten Erinnerungen beraubt zu werden. Als unwillkürliche Reaktion setzt eine erhöhte Memorationstätigkeit durch Vergrößern von ν ein, die die erloschene Funktion wieder aufleben läßt. Nach Abklingen des Fiebers ist der Kranke wieder im Besitz seiner normalen Fähigkeit.

Zu 3, 1: Es ist naheliegend anzunehmen, daß die Transformation eines El von einem imprägnierten auf ein freies Mem, dieses in seiner

Nachbarschaft aufsuchen wird. Das heißt, daß große Transformationsentfernungen eine Verschlechterung des Wirkungsgrades η im Gefolge haben. In der Tat lehrt ja auch die Erfahrung, daß Erinnerungen sich als geschlossene Komplexe mit einer oft erstaunlichen Feinstruktur erhalten. Dies deutet offenbar auf ein Umgebungsproblem. Sind die geometrischen oder physiologischen Voraussetzungen für eine einwandfreie Transformation gestört, sinkt der Wirkungsgrad η.

Zu 4, 1: Die Struktur der Meme selbst kann gewissen Fehlern unterworfen sein, oder sie können auch falsch imprägniert werden. Man kann sich solche Verhältnisse an dem Niveauschema eines Mems veranschaulichen, wenn man z. B. die in Abb. 13 gezeichnete Niveaukurve hypothetisch verlängert, etwa wie in der nachfolgenden Skizze.

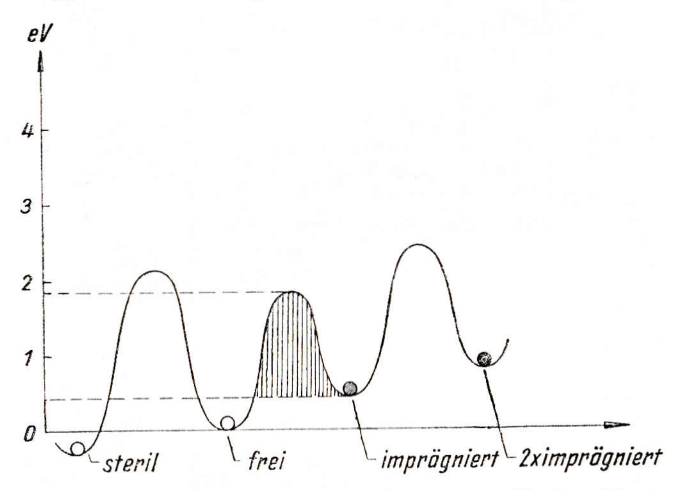


Abb. 15. Hypothetische Potentiallagen krankhafter Meme.

Der schraffierte Berg kennzeichnet den in üblicher Weise ständig übersprungenen Potentialwall. Fällt ein imprägniertes Mem jedoch infolge einer Fehlimprägnation in ein nächst höheres Energieniveau (in Abb. 15 nach rechts), so braucht bloß der es in dieser Lage stabilisierende Potentialwall um ein geringeres höher sein als der übliche, und die Wartezeit, in der es hier verbleibt, wird sofort um Größenordnungen länger als im Normalfall. Es kann also nicht mehr imprägniert werden: es ist „verstopft". Eine Ansammlung verstopfter Meme bedeutet eine Gefahr für den natürlichen Ablauf der Transformation, die ja stets freie Meme braucht. Durch eine Temperatursteigerung sinkt jedoch diese entartete Wartezeit und das Mem hat eher die Gelegenheit, sich in einen normalen Zustand zu verwandeln. Hoffnungslos scheint der sterile Zustand zu sein, denn ein solches Mem ist für seine Verwendung innerhalb der Transformationsprozesse untauglich geworden.

Zum Abschluß der Besprechung von $\varkappa$-Kranken möge als Beispiel neben die **Ebbinghaus**sche Kurve zum Vergleich die

G-Funktion für $\varkappa = 0$ gesetzt werden (Abb. 16). Man erkennt hier deutlich die große Vergeßlichkeit des $\varkappa$-Kranken gegenüber dem Normalfall.

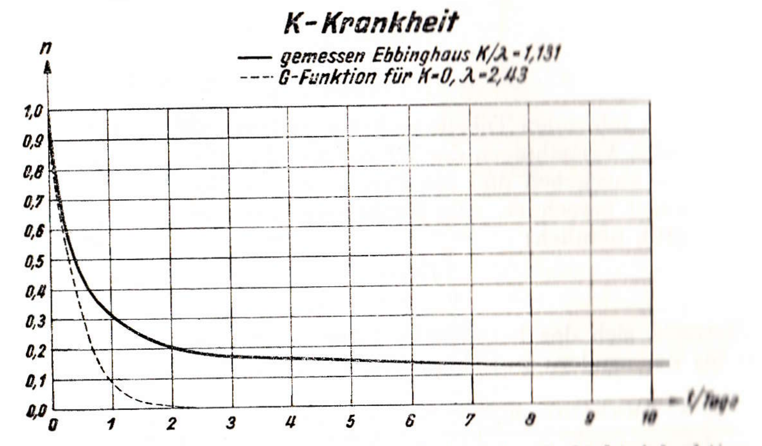


Abb. 16. Normaler und krankhafter Verlauf der Gedächtnisfunktion.

Anhang.

§ 1. V-Funktion.

In der folgenden Tabelle und den nachstehenden Abbildungen sind einige Verteilungen der *EI* zur Zeit $t = 0$ über die Flüchtigkeiten α angegeben und die daraus sich ergebenden Vergessensfunktionen berechnet. Alle Funktionen $f(\alpha)$ erfüllen die Bedingung (10), nämlich:

$$\int_0^\infty f(\alpha)\, d\alpha = 1. \tag{10}$$

Erstreckt sich das betrachtete Flüchtigkeitsbereich α nicht von 0 bis ∞, sondern zwischen dem endlichen Bereich α_1 und α_2,

V-Funktion bei verschiedener Verteilung $f(\alpha)$.

Gleich. Nr.	Verteilung $f(\alpha)$	Grenzen		V-Funktion $n = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} f(\alpha)\, e^{-\alpha t}\, d\alpha$	Gleich. Nr.
		untere α_1	obere α_2		
1,10	$\frac{1}{2\,\Delta\alpha}$	$\alpha_0 - \Delta\alpha$	$\alpha_0 + \Delta\alpha$	$e^{-\alpha_0 t}\,\frac{\mathrm{Sin}\,(\Delta\alpha\,.\,t)}{\Delta\alpha\,.\,t}$	1,11
1,20	$\frac{2}{\alpha_0}\left(1 - \frac{\alpha}{\alpha_0}\right)$	0	α_0	$\frac{2}{(\alpha_0 t)^2}\,(e^{-\alpha_0 t} + \alpha_0 t - 1)$	1,21
1,30	$\frac{\pi}{4}\cdot\frac{1}{\Delta\alpha}\cos\frac{\pi}{2}\left(\frac{\alpha_0 - \alpha}{\Delta\alpha}\right)$	$\alpha_0 - \Delta\alpha$	$\alpha_0 + \Delta\alpha$	$\frac{\pi^2}{4}\,e^{-\alpha_0 t}\,\frac{\mathrm{Cos}\,(\Delta\alpha\,.\,t)}{(\Delta\alpha\,.\,t)^2 + \frac{\pi^2}{4}}$	1,31
1,40	$\frac{1}{\alpha_0}\cdot\frac{2}{\sqrt{\pi}}\,e^{-\left(\frac{\alpha}{\alpha_0}\right)^2}$	0	∞	$e^{-\frac{\alpha_0^2 t^2}{4}}\left[1 - \varphi\left(\frac{\alpha_0^2 t^2}{4}\right)\right]^*$	1,41
1,50	$\frac{1}{\alpha_0}\cdot\frac{\left(\frac{\alpha}{\alpha_0}\right)^p}{\Gamma(p+1)}\,e^{-\frac{\alpha}{\alpha_0}}$ **	0	∞	$(1 + \alpha_0 t)^{-(p+1)}$	1,51

$$* \quad \varphi(\xi) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\xi z^{-\frac{1}{2}}\, e^{-z}\, dz = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\,.\,\xi^{\frac{1}{2}} \sum_0^\infty \frac{\xi^n}{n!}\cdot\frac{(-1)^n}{2n+1}.$$

$$** \quad \Gamma(p+1) = \int_0^\infty z^p\, e^{-z}\, dz; \quad \text{für } p = 1, 2, 3 \ldots \;\; \Gamma(p+1) = p!.$$

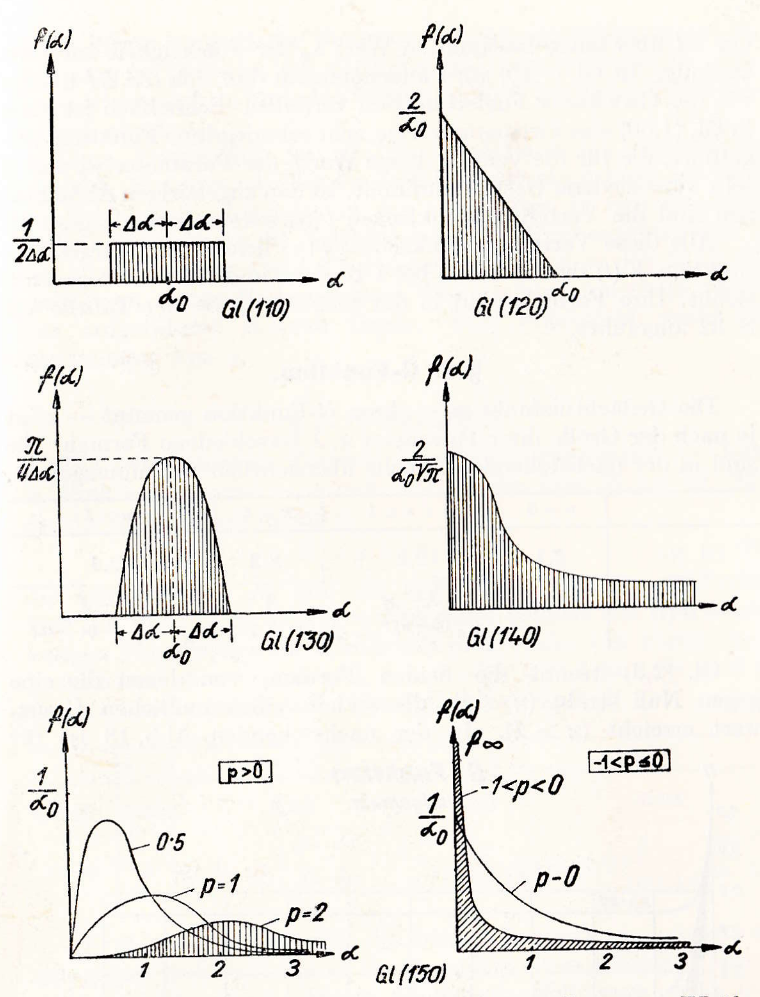


Abb. 17. Einige Möglichkeiten der stetigen Verteilung von *EI* über ihre Flüchtigkeiten.

dann muß natürlich die Gl. (10) diese Grenzen berücksichtigen und lauten:

$$\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} f(\alpha)\, d\alpha = 1. \tag{1,01}$$

In Gl. (1,10) ist eine konstante stetige Verteilung beschrieben, in Gl. (1,20) ein linearer Abfall der Funktion mit starkem Anteil wichtiger *EI*. Gl. (1,30) bringt eine beliebig scharfe Kulmination

der EI über einen bestimmten Wert α_0 der Flüchtigkeit zur Darstellung. In Gl. (1,40) wird angenommen, daß sich die EI über α wie die Gaußsche Fehlerfunktion verteilen. Schließlich ist noch in Gl. (1,50) eine zweiparametrige, sehr schmiegsame Funktion aufgeführt, die für die verschiedenen Werte der Parameter α_0 und p sehr verschiedene Gestalt annimmt. In den zugehörigen Abbildungen sind die Verteilungsfunktionen $f(\alpha)$ schematisch dargestellt.

Alle diese Verteilungsfunktionen $f(\alpha)$ liefern eine Vergessensfunktion $V(t)$ die für $t = 0$ bei 1 beginnt und für $t \to \infty$ gegen 0 strebt. Ihre Formeln sind in der rechten Spalte der Tabelle auf S. 32 angeführt.

§ 2. G-Funktion.

Die Gedächtnisfunktion — kurz G-Funktion genannt — zeigt je nach der Größe ihrer Parameter $\varkappa$, λ verschiedene Formen. Sie sind in der nachstehenden Tabelle übersichtlich zusammengefaßt.

	$\varkappa = 0$	$0 < \varkappa < \lambda$	$\varkappa = \lambda$	$\varkappa > \lambda$
Gl. Nr.	2,1	2,2	2,3	2,4
$n = G(t) =$	$e^{-\lambda t}$	$\frac{\lambda - \varkappa}{\lambda e^{(\lambda - \varkappa) t} - \varkappa}$	$\frac{1}{1 + \lambda t}$	$\frac{\varkappa - \lambda}{\varkappa - \lambda e^{-(\varkappa - \lambda) t}}$

Gl. (2,3) trennt die beiden Formen, von denen die eine gegen Null strebt ($\varkappa < \lambda$), die andere einen endlichen Grenzwert erreicht ($\varkappa > \lambda$). In der nachstehenden Abb. 18 ist für einige Werte von $\varkappa/\lambda$ der Funktionsverlauf angegeben, wobei die Zeitachse in Vielfache der mittleren Wartezeit τ geteilt ist. Dadurch ist es möglich, für jeden beliebigen Wert von λ den Funktionsverlauf abzulesen.

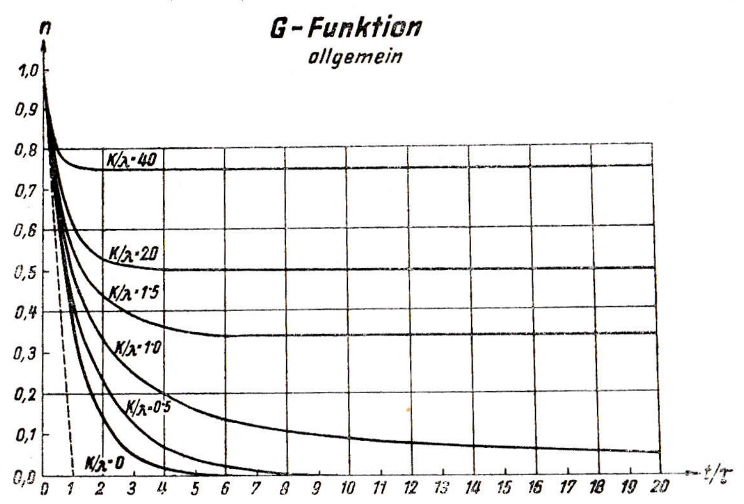


Abb. 18. Allgemeine Darstellung der Gedächtnisfunktion.

Diese Darstellung ist für die experimentelle Auswertung geeignet. Hat man nämlich die Zerfallskonstante λ durch Messung des Erinnerungsschwundes in der ersten Zeit in irgendwelchen Einheiten ermittelt, so braucht man die Erinnerungsanteile n nur über die Werte t mal λ auftragen, und kann so den Wert $\varkappa/\lambda$ abschätzen. Denn die gemessenen Werte müssen innerhalb zweier hier aufgeführter Kurven liegen. Dies ermöglicht dann die Bestimmung von $\varkappa$.

§ 3. M-Funktion.

Die verschiedenen Formen der Gesamtmemoration — kurz M-Funktion genannt — erhält man, wenn man in die Gl. (32), die die M-Funktion definiert

$$M = \mu N (N_0 - N) \tag{32}$$

die Lösungen für N, also die G-Funktion einsetzt. Reduziert man auf $m = M/N_0$ und $n = N/N_0$ und benützt die Tabelle des vorigen Paragraphen für n, so erhält man wieder vier Funktionen, je nachdem ob $\varkappa = 0$, $\varkappa < \lambda$, $\varkappa = \lambda$ oder $\varkappa > \lambda$ ist. Sie sind in der nachstehenden Tabelle übersichtlich dargestellt.

	$\varkappa = 0$	$0 < \varkappa < \lambda$	$\varkappa = \lambda$	$\varkappa > \lambda$
Gl. Nr.	3,01	3,02	3,03	3,04
$m =$	0	$\varkappa\lambda(\lambda - \varkappa)\frac{e^{(\lambda - \varkappa) t} - 1}{(\lambda e^{(\lambda - \varkappa) t} - \varkappa)^2}$	$\frac{\lambda^2 t}{(1 + \lambda t)^2}$	$\varkappa\lambda(\varkappa - \lambda)\frac{1 - e^{-(\varkappa - \lambda) t}}{(\varkappa - \lambda e^{-(\varkappa - \lambda) t})^2}$

Gl. (3,03) trennt wieder die beiden Formen, von denen die eine gegen Null strebt ($\varkappa < \lambda$), die andere einen endlichen Grenzwert erreicht ($\varkappa > \lambda$). Diesen Grenzwert erhält man, wenn man in Gl. (3,04) t gegen Unendlich laufen läßt. Die Exponentialfunktionen im Zähler und Nenner laufen rasch gegen Null und man erhält für m_∞, die Erinnerungsmemoration:

$$m_\infty = \lambda\left(1 - \frac{1}{\varkappa/\lambda}\right). \tag{3,05}$$

Ein Vergleich mit Gl. (24), die n_∞ die Erinnerung definiert:

$$n_\infty = \frac{\varkappa - \lambda}{\varkappa} = 1 - \frac{1}{\varkappa/\lambda}, \tag{24'}$$

zeigt die einfache Beziehung

$$n_{\infty} = \tau \,.\, m_{\infty}. \tag{3,06}$$

Die Erinnerungsmemoration ist also sofort in Abb. 9 abzulesen, wenn man die dort gefundenen Werte mit λ multipliziert.

Die Memorationsfunktionen $m\,(t)$ besitzen ein Maximum. Man findet es leicht durch Differenzieren und Nullsetzen der Gl. (3,02) bis (3,04).

Man erhält folgende Fälle:

	$\varkappa = 0$	$\varkappa < \lambda$	$\varkappa = \lambda$	$\lambda < \varkappa < 2\,\lambda$	$\varkappa = 2\,\lambda$	$\varkappa > 2\,\lambda$
Gl. Nr.	3,07	3,08	3,09	3,10	3,11	3,12
$\tau \,.\, m_{\max}$	0	$\frac{1}{4}\;\frac{\varkappa}{\lambda}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}\;\frac{\varkappa}{\lambda}$	$\frac{1}{2}$	$1 - \frac{1}{\varkappa/\lambda}$
$t_{\max}/\tau =$	$\ln 2$	$\dfrac{\ln\left(2 - \frac{\varkappa}{\lambda}\right)}{1 - \frac{\varkappa}{\lambda}}$	1	$\dfrac{\ln\left(\frac{1}{2 - \varkappa/\lambda}\right)}{\frac{\varkappa}{\lambda} - 1}$	∞	∞
Gl. Nr.	3,131	3,081	3,091	3,101	3,111	3,121

In der ersten Zeile der Tabelle sind die Werte des Maximums der Gesamtmemoration für die verschiedenen Werte des Parameterpaares $\varkappa$, λ eingetragen. In der zweiten Zeile sind die Zeiten aufgeführt, bei denen der Moment der maximalen Gesamtmemoration erreicht wird.

Um die Verhältnisse anschaulich zu machen, ist in der folgenden Abb. 19 für einige Werte von $\varkappa/\lambda$ der Verlauf der Gesamtmemoration als Funktion der Zeit aufgetragen. Die Zeit ist wiederum in Vielfachen der mittleren Lebensdauer τ angegeben. Bis zu Werten von $\varkappa/\lambda = 2$ durcheilt die Gesamtmemoration ein Maximum. Für kleinere Werte von $\varkappa/\lambda = 1$ wird kein endlicher Gesamtmemorationswert nach genügend langer Zeit erreicht.

Der schraffierte Bereich kennzeichnet solche Werte von $\varkappa/\lambda$, bei denen die Gesamtmemoration sowohl ein Maximum als auch einen endlichen Endwert, die Erinnerungsmemoration m_{∞}, erreicht. Für $\varkappa/\lambda > 2$ fällt die Erinnerungsmemoration mit dem Wert der maximalen Gesamtmemoration $m_{\max}$ zusammen. Beide werden erst nach hinreichend langer Zeit ($t = \infty$) erreicht.

Die punktierte Kurve verbindet die Maximalwerte der Gesamtmemoration.

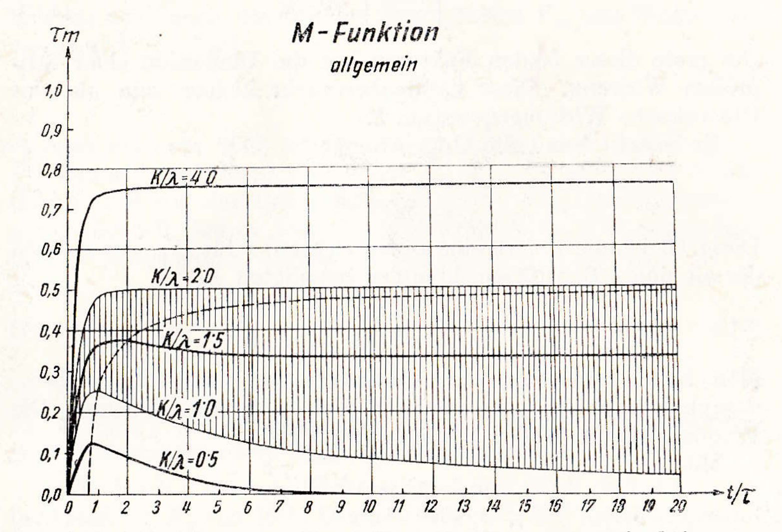


Abb. 19. Allgemeine Darstellung der Memorationsfunktion.

§ 4. Leistungsbilanz.

Daß der Transformationsvorgang eine Leistungsbilanz ist, erkennt man sofort, wenn man die für die Anzahl der EI angesetzte Differentialgleichung (20) durch Multiplikation von ε in eine Energiegleichung verwandelt:

$$\frac{d\varepsilon\, N}{dt} = -\,\lambda\, \varepsilon\, N + \frac{\mu\, \varepsilon\, N}{\varepsilon}\,(\varepsilon\, N_0 - \varepsilon\, N). \tag{4,01}$$

Mit $\varepsilon\, N = E$ und $\varepsilon\, N_0 = E_0$, dem Momentanwert und Anfangswert der Gesamtenergie der an dem Memorationsvorgang beteiligten Meme erhält man:

$$\frac{dE}{dt} = -\,\lambda\, E + \frac{\mu\, E}{\varepsilon}\,(E_0 - E). \tag{4,02}$$

Die Lösung, die für N abgeleitet wurde, gilt ebenso für E. In gleicher Weise ist auch die Memoration $\varkappa$ definiert:

$$\varkappa = \frac{\mu\, E_0}{\varepsilon} \tag{4,03}$$

und mit Gl. (19)

$$\varkappa = \frac{\nu \,.\, \eta\, E_0}{\varepsilon}. \tag{4,04}$$

Die rechte Seite läßt sich in zwei Faktoren aufspalten:

$$\varkappa = \left(\frac{\nu N_0}{\varepsilon}\right) . (\varepsilon . \eta). \tag{4,05}$$

Der erste dieser beiden Faktoren hat die Dimension einer reziproken Wirkung. Diese kann aber nicht kleiner sein als das Plancksche Wirkungsquantum h.

Es besteht somit die Ungleichung:

$$\frac{\varepsilon}{\nu . N_0} \geqq h. \tag{4,06}$$

Diese Gleichung liefert eine obere Schranke für N_0, der Anzahl der an einem Bewußtseinskomplex beteiligten EI.

$$N_0 \leqq \frac{\varepsilon}{\nu h}. \tag{4,07}$$

Man kann versuchen, die Abtastfrequenz ν mit den elektroenzephalographisch gemessenen α-Wellen zu identifizieren. Die Frequenz dieser Wellen beträgt etwa 1 Hz.

Mit

$$\begin{aligned} \nu &\sim 1 \text{ sec}^{-1} \\ \varepsilon &\sim 10^{-12} \text{ erg} \\ h &\sim 10^{-27} \text{ erg . sec} \end{aligned} \tag{4,08}$$

wird

$$N_{0\,\max} \sim 10^{15}. \tag{4,09}$$

Das heißt, daß ein BI sich aus maximal 10^{15} EI zusammensetzen kann. Da aber $N_{0\,\max}$ auch die größte Anzahl der laufend von den Memen vom Typus T_1 her imprägnierten Meme vom Typus T_2 darstellt, ist $N_{0\,\max}$ mit z_2 [Gl. (53)] identisch. z_1 ist dann nach (51)

$$z_1 = z_2 . 10^{-7} = 10^8. \tag{4,10}$$

Das heißt, es wäre nicht sinnvoll, mehr als 10^8 Meme vom Typus T_1 zu besitzen. Also auch nicht mehr als 10^8 Reizkörperchen auf der Körperoberfläche zu verteilen.

Ist N_0 und ν gegeben, so findet man den Wirkungsgrad η aus der Beziehung (19):

$$\eta \geqq \frac{\varkappa}{N_{0\,\max} . \nu}. \tag{4,11}$$

Mit

$$\begin{aligned} \varkappa &\sim 10^4 \text{ sec}^{-1} \\ N_0 &\sim 10^{15} \\ \nu &\sim 1 \text{ sec}^{-1} \end{aligned} \tag{4,12}$$

wird:

$$\eta_{\min} = 10^{-11}. \tag{4,13}$$

Bestehen dann günstige Transformationsbedingungen, wenn die an der Transformation beteiligten Meme benachbart sind, ist also

im wesentlichen η eine geometrische Kenngröße, dann wird es davon abhängen, wieviel Meme ein Mem in der Nachbarschaft hat, das heißt aber, wie sich das Memvolumen V_m zum Memzellenvolumen V_z verhält.

$$\eta \sim \frac{V_m}{V_z}. \tag{4,14}$$

Schätzt man ein Mem zu 10^3 Atome (analog zu Schrödingers Schätzung für ein Gen), dann wird V_m mit dem bekannten Atomradius 10^{-8} von der Größenordnung 10^{-21}. Die Lineardimension einer Memzelle wurde schon oben [Gl. (58)] zu 10^{-4} angegeben. Der Wirkungsgrad η wird somit bestenfalls

mit

$$\begin{aligned} V_m &\sim 10^{-21} \text{ cm}^3 \\ V_z &\sim 10^{-12} \text{ cm}^3 \end{aligned} \tag{4,15}$$

$$\eta_{\max} = 10^{-9}. \tag{4,16}$$

Die beiden völlig verschiedenen Ableitungen für den Wirkungsgrad scheinen einander nicht zu widersprechen.

Mit einem mittleren Wirkungsgrad von 10^{-10} und $\nu = 1$, erhält man ein N_0 von 10^{14}. Da nach (59) etwa 10^{21} Meme insgesamt vorhanden sind, verfügt man also über etwa 10^7 BI, von denen jeder aus etwa 10^{14} EI zusammengesetzt ist.

§ 5. Terminologie.

Symbol	Bedeutung	Dimension			
		c	g	s	T
N, N_0, N_{0i}	Anzahl der EI; Anzahl der imprägnierten Träger . Anzahl energetisch gehobener Meme	0	0	0	0
n, n_0, n_{0i}	Relative Anzahl der EI . N/N_0	0	0	0	0
α_i	Flüchtigkeitskoeffizient	0	0	—1	0
t	Zeit	0	0	1	0
λ	Zerfallskonstante	0	0	—1	0
τ	Mittlere Wartezeit	0	0	1	0
μ	Memorationskoeffizient	0	0	—1	0
ν	Abtastefrequenz	0	0	—1	0
η	Transformationswirkungsgrad	0	0	0	0
$\varkappa$	Memoration	0	0	—1	0
n_∞	Erinnerung: $\lim_{t \to \infty} n = n_\infty$	0	0	0	0
M	Gesamtmemoration	0	0	—1	0
m	Relativmemoration M/N_0	0	0	—1	0
m_∞	Erinnerungsmemoration $\lim_{t \to \infty} m = m_\infty$	0	0	—1	0

Symbol	Bedeutung	Dimension			
		c	g	s	T
$m_{\max}$	Maximalmemoration $m \left(\frac{dm}{dt}\right) = 0$	0	0	—1	0
E_i	Energieniveaus	2	1	—2	0
ε	Energiedifferenz zwischen Ruhe und gehobener Stufe	2	1	—2	0
E_z	Potentialwall, Zerfallsenergie	2	1	—2	0
E_i	Imprägnationsenergie	2	1	—2	0
τ_s	Selbstimprägnationswartezeit	0	0	1	0
k	Boltzmannsche Konstante $1{,}38 \cdot 10^{-16}$	2	1	—2	—1
T	Absolute Temperatur	0	0	0	1
ϑ	Körpertemperatur °C	0	0	0	1
Θ	Übernormaltemperatur $\Theta = (\vartheta - 36{,}6)$ °C	0	0	0	1
c_1	Memoberflächendichte	—2	0	0	0
c_2	Volumdichte der Meme	—3	0	0	0
c	Lichtgeschwindigkeit $3 \cdot 10^{10}$	1	0	—1	0
h	Plancksches Wirkungsquantum $6{,}54 \cdot 10^{-27}$	2	1	—1	0
λ	Wellenlänge	1	0	0	0
O	Oberfläche	2	0	0	0
V	Volumen	3	0	0	0
L	Lineardimension des Individuums	1	0	0	0
l	Lineardimension des Mikroorganismus	1	0	0	0
$\overline{N}_i$	Mittlere Leistung	2	1	—3	0
EI	Elementarbewußtseinsinhalt				
BI	Bewußtseinsinhalt EI				
B	Das Bewußte				
U	Das Unbewußte				
T_1, T_2, T_3	Trägertypen, Memtypen				
Z_1, Z_2, Z_3	Trägeranzahlen				
z_1, z_2, z_3	Trägeranzahlen				

V-Funktion $\quad V(t) = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} f(\alpha)\, e^{-\alpha t}\, d\alpha$

G-Funktion $\quad G(t) = (\lambda - \varkappa) \cdot (\lambda e^{(\lambda - \varkappa) t} - \varkappa)^{-1}$

E-Funktion $\quad E(z) = 1 - {}^1/z$

M-Funktion $\quad M(t) = \varkappa \lambda (\lambda - \varkappa)(e^{(\lambda - \varkappa) t} - 1) \cdot (\lambda e^{(\lambda - \varkappa) t} - \varkappa)^{-2}$

$f(\alpha)$ Verteilungsfunktion der Flüchtigkeitskoeffizienten.

